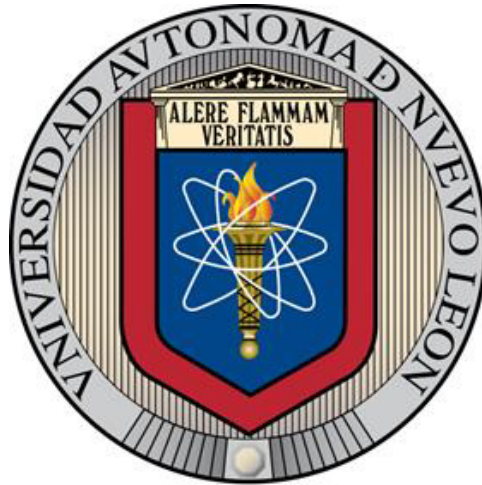


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE  
DISTRIBUCIÓN DE AGUACATE HASS PARA LAS  
EXPORTACIONES COLOMBIANAS MEDIANTE  
SIMULACIÓN**

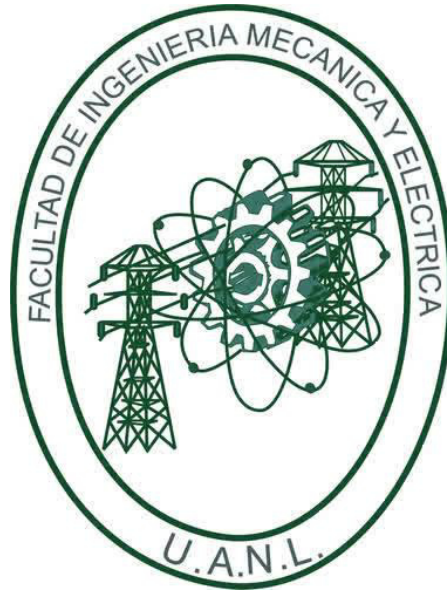
**POR**

**ALEXANDER PARRA ARENAS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

**FEBRERO, 2018**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE  
DISTRIBUCIÓN DE AGUACATE HASS PARA LAS  
EXPORTACIONES COLOMBIANAS MEDIANTE  
SIMULACIÓN**

**POR**

**ALEXANDER PARRA ARENAS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

**FEBRERO, 2018**

**Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**Subdirección de Estudios de Posgrado**

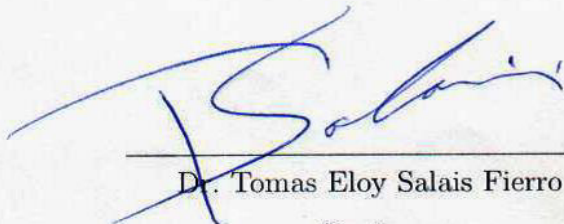
Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Propuestas de mejora del sistema de distribución de aguacate hass para las exportaciones colombianas mediante simulación», realizada por el alumno Alexander Parra Arenas, con número de matrícula 1834731, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis



Dr. Francisco Edmundo Treviño Treviño

Asesor



Dr. Tomas Eloy Salais Fierro

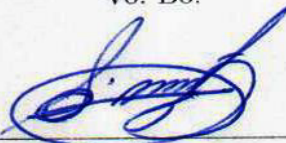
Revisor



M.A. José Daniel Mosquera Artamonov

Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado



San Nicolás de los Garza, Nuevo León, febrero 2018

# ÍNDICE GENERAL

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>x</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>1. Planteamiento y fundamentación</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema . . . . .	3
1.2. Objetivo . . . . .	4
1.3. Hipótesis . . . . .	5
1.4. Justificación . . . . .	5
1.5. Metodología . . . . .	6
1.6. Estructura de la tesis . . . . .	7
<b>2. Revisión de la literatura</b>	<b>9</b>
2.1. La logística y su importancia en la cadena de suministro . . . . .	9
2.2. Cadenas de suministro agroalimentarias . . . . .	12
2.2.1. Principales características . . . . .	13
2.2.2. Factores relevantes en el desarrollo de una cadena de suministro	14

2.3. Fundamentos de distribución . . . . .	15
2.3.1. Factores que influyen en el diseño de una red de distribución .	16
2.3.2. Algunas estrategias que permiten planificar una red de distribución . . . . .	17
2.3.3. Problemas de redes de distribución . . . . .	18
<b>3. Metodología</b>	<b>25</b>
3.1. Metodología para mejorar una red de distribución agroalimentaria mediante un modelo de simulación . . . . .	26
3.1.1. Definición del sistema . . . . .	27
3.1.2. Formulación del modelo . . . . .	28
3.1.3. Programación . . . . .	29
3.1.4. Verificación y validación . . . . .	31
3.1.5. Diseño de experimentos . . . . .	31
3.1.6. Análisis de resultados . . . . .	33
3.2. Metodología aplicada al caso de estudio . . . . .	33
3.2.1. Definición del sistema . . . . .	33
3.2.2. Formulación del modelo . . . . .	35
3.2.3. Programación . . . . .	39
3.2.4. Verificación y validación . . . . .	40
3.2.5. Diseño de experimentos . . . . .	42

---

<b>4. Análisis de resultados</b>	<b>44</b>
4.1. Resultados de la primer experimentación . . . . .	44
4.2. Resultados de la segunda experimentación . . . . .	52
4.3. Discusión de resultados . . . . .	59
<b>5. Conclusiones</b>	<b>61</b>
5.1. Conclusiones generales . . . . .	61
5.2. Contribuciones . . . . .	62
<b>A. Apéndice</b>	<b>63</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

2.1. Estrategias básicas que permiten planificar un sistema de distribución	17
3.1. Etapas de la metodología . . . . .	27
3.2. Calendario de producción de aguacate hass en Colombia . . . . .	35
3.3. Curva de exportaciones de aguacate hass en Colombia . . . . .	41
4.1. Efectividad anual del sistema para el primer experimento. . . . .	45
4.2. Efectividad del sistema por ciclo productivo para el primer experimento.	46
4.3. Total de contenedores enviados del primer experimento. . . . .	47
4.4. Rentabilidad del primer experimento. . . . .	48
4.5. Efectividad anual del <i>CA</i> 2. . . . .	49
4.6. Efectividad del ciclo productivo de <i>CA</i> 2. . . . .	50
4.7. Envíos del <i>CA</i> 6. . . . .	51
4.8. Rentabilidad del <i>CA</i> 6. . . . .	51
4.9. Efectividad anual del sistema para el segundo experimento. . . . .	53
4.10. Efectividad del sistema por ciclo productivo para el segundo experi- mento. . . . .	54

---

4.11. Total de contenedores enviados del segundo experimento. . . . .	55
4.12. Total rentabilidad del segundo experimento. . . . .	55
4.13. Efectividad anual para el <i>CA</i> 4. . . . .	56
4.14. Efectividad por ciclo productivo del <i>CA</i> 4. . . . .	57
4.15. Total envíos por contenedor del <i>CA</i> 1. . . . .	58
4.16. Rentabilidad anual para el <i>CA</i> 1. . . . .	58
A.1. Histórico de producción por municipio. . . . .	64
A.2. Ubicación geográfica de centros de acopio. . . . .	64
A.3. Flete marítimo según mercado destino. . . . .	65
A.4. Precios históricos de exportación de aguacate Colombiano. . . . .	65
A.5. Distancias entre centros productivos y de acopio. . . . .	66
A.6. Flete terrestre centros de acopio-puertos. . . . .	67



# ÍNDICE DE TABLAS

---

2.1. Características más sobresalientes de una Cadena de Suministro Agroalimentaria . . . . .	13
2.2. Diferencias entre cadenas de suministro agroalimentarias e industriales	17
2.3. Algunos métodos relacionados a problemas de redes de distribución. .	20
3.1. Softwares más implementados en el procesamiento de datos. . . . .	30
4.1. Análisis Kruskal-Wallis para las variables respuesta del primer experimento. . . . .	45
4.2. Análisis Kruskal-Wallis para las variables respuesta del segundo experimento . . . . .	52

# AGRADECIMIENTOS

---

En primera instancia, agradezco a la Universidad Autónoma de nuevo León, a su Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y a todo México por abrirme las puertas y hacer de esta experiencia una de las más retantes de mi vida.

También Agradezco a mis asesores: Dr. Francisco Edmundo Treviño Treviño, Dr. Tomas Eloy Salais Fierro y M.A. José Daniel Mosquera Artamonov por su disponibilidad de tiempo, toda la colaboración brindada y voz de ánimo en los momentos difíciles.

Agradezco a todos los maestros, compañeros y demás personas que hicieron parte de esta etapa y de una u otra manera contribuyeron al desarrollo de la misma.

Finalmente, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado durante el posgrado y por su firme compromiso con la educación incluyente.

# RESUMEN

---

Alexander Parra Arenas.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUACATE HASS PARA LAS EXPORTACIONES COLOMBIANAS MEDIANTE SIMULACIÓN.

Número de páginas: 71.

**OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO:** El objetivo del presente trabajo es establecer mejoras en la red de distribución de aguacate hass para las exportaciones colombianas, mediante un modelo de simulación colaborativo que permitan un aumento en la utilidad esperada por los centros de acopio.

El método de estudio de la tesis inicia con una revisión de literatura sobre los temas de cadenas de suministro agroalimentarias y el diseño de sus redes de distribución, hasta llegar a la investigación específica del caso de aguacate hass Colombiano. Para el presente trabajo, se definió que la Simulación Montecarlo con parámetros estocásticos y esquemas de decisión heurísticas resulta una herramienta apropiada para abordar la problemática que se desarrolla en la investigación.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Considerando los resultados de la investigación, se pudo concluir que debido a las características propias de las cadenas de suministro agroalimentarias se considera pertinente analizar una configuración del sistema de distribución basado en un enfoque colaborativo e identificar los factores que mayor impacto tienen en el proceso, de manera que se permita alinear el flujo de producto a lo largo de la cadena, aumentando la efectividad y rentabilidad que se genera.

La principal contribución de esta investigación es un esquema general de simulación para una cadena de suministro agroalimentaria, que puede ser aplicado a cualquier producto que pertenezca a este giro y actualizarse en la medida que se tenga acceso a más información, gracias a su flexibilidad y a su capacidad de poder adquirir mayor complejidad.

Firma del asesor: \_\_\_\_\_  
Dr. Francisco Edmundo Treviño Treviño

## CAPÍTULO 1

# PLANTEAMIENTO Y FUNDAMENTACIÓN

---

Establecer una adecuada configuración del sistema de distribución no sólo se refleja positivamente en la experiencia del consumidor final, medida en variables como el *lead time*, sino que también impacta la eficiencia operativa a través de toda la cadena al facilitar un flujo adecuado de recursos entre los diferentes puntos.

En general, todas las compañías hacen parte de alguna cadena de suministro, y el diseño de todas las redes que las conforman contribuye al éxito del negocio; la red de distribución de cadenas agroalimentarias no es la excepción, aunque muchas empresas cuentan con estrategias, en algunos casos se definen empíricamente y sin argumentos sólidos y en otros se diseñan de manera aislada. No obstante, se debe considerar todo el sistema al que pertenece una empresa ya que este eslabón afecta diferentes procesos relacionados con otras áreas como abastecimiento (Sabet *et al.*, 2017). Exponiéndose así la necesidad imperante de diseñar una red que beneficie las empresas del sistema.

El actual proceso de globalización que enfrentan las empresas, incluidas las pertenecientes a esta industria de perecederos, demanda una mayor preparación como consecuencia de un mercado cada vez más competitivo y cambiante en el cual se requiere estar a la vanguardia, satisfacer necesidades emergentes, priorizar la atención de los requerimientos del cliente así como las dinámicas y tendencias presentes

en el entorno, dichas pautas originan que las compañías pongan en consideración las actividades que van encaminadas a mejorar el sistema, procurar una mejor posición en la industria y un máximo aprovechamiento de los recursos con los que se cuenta, mediante la aplicación de distintas estrategias en la gestión.

Las actividades logísticas con frecuencia son tenidas en cuenta para desarrollar estrategias, que de ejecutarse adecuadamente, proporcionan importantes ventajas competitivas. La configuración de redes de distribución se implementa como una iniciativa que establece el flujo adecuado de los productos mediante la cadena de suministro, que busca impactar positivamente la eficiencia de la misma. No obstante, el grado de dificultad y las necesidades a la hora de configurar este tipo de redes cambia de una compañía a otra, teniendo en cuenta las complejidades propias de cada sistema, la planeación y experimentación que la configuración amerita, por lo que el adecuado diseño de estas redes es una tarea de gran relevancia.

Esta tesis abarca la temática específica de una red de distribución agroalimentaria en Colombia. Una realidad común en la práctica de la cadena que se está estudiando es que la mayoría de las empresas involucradas no cuentan con la suficiente planeación y toman decisiones en el día a día de manera improvisada, lo anterior se debe en gran medida a que se está analizando una industria naciente y aún es muy amplia su curva de aprendizaje.

De realizarse la configuración correspondiente, sería posible aproximarse a los movimientos adecuados de las cargas de producto entre cada eslabón y al mismo tiempo por medio de la simulación generar escenarios realistas que se puedan presentar en la operación, de tal forma que se obtengan diferentes alternativas que finalmente faciliten los procesos de toma de decisiones y se vean reflejados en el buen funcionamiento del sistema.

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Colombia es un actor nuevo en el mercado competitivo de aguacate hass, la producción de este fruto se lleva a cabo allí desde hace aproximadamente 15 años, por lo que es un participante pequeño, México es el líder de esta industria en el mundo, mientras Colombia ocupa la posición 16 a nivel mundial en cuanto a exportación. Esto ocasiona que el país tenga economías de escala pequeñas en contraste con los grandes productores actuales. Por ende, Colombia está viviendo una situación apremiante por mejorar y eficientizar sus procesos para no quedar fuera.

Debido a la dinámica de crecimiento mundial de esta industria, se ha visto la importancia que ha tomado, lo cual se evidencia en aumentos en el área sembrada, consumo y los esfuerzos de los sectores público y privado por promover la comercialización de estos productos en mercados especializados. Sin embargo, al ser una industria naciente, uno de los principales retos que está afrontando el gremio, es la construcción de la cadena de suministro con un enfoque internacional; en donde uno de muchos aspectos que en la actualidad se presentan con oportunidad de mejora es su sistema de distribución (Bareño, 2014).

Por estos tiempos, el diseño de sistemas de distribución agroalimentarios en Colombia requiere de una mayor exploración para llegar a potencializar el rendimiento de las empresas, por lo que se hace necesario la apertura de diversas líneas de investigación para fomentar el estudio de esta materia. Como sucede con el diseño de sistemas de distribución, resaltando que es un proceso fundamental de la logística y que la implementación de modelos de simulación para la toma de decisiones en esta área es un aspecto sobresaliente para beneficiar las operaciones en este caso de las empresas que hacen parte de la cadena de suministro (Escobar *et al.*, 2013).

En otros tipos de cultivos observados, el diseño del sistema de distribución se realiza de manera aislada para cada eslabón. Es por ello, que la configuración de un sistema de este tipo para el aguacate debe considerar una visión holística de toda la

cadena para que adquiriera una visión estratégica y sobre todo, para contar con un flujo eficiente de productos.

Por otra parte, es necesario resaltar el impacto que la globalización económica ha tenido en la gestión de cadenas de suministros agroalimentarias gracias al aumento en la complejidad del diseño de redes que la comprenden debido a que la mayoría de sus integrantes se encuentran ubicados geográficamente distantes (Attaran y Attaran, 2007). De tal modo que hemos sido testigos del reciente desarrollo del enfoque colaborativo en la gestión de cadenas de suministros y su influencia directa en el desarrollo y configuración de redes como las de abastecimiento o distribución (Gomes y Kliemann Neto, 2015).

la colaboración empresarial en la cadena de suministro se desarrolla como una estrategia que busca generar ventajas al reafirmar que la rivalidad ya no se genera entre empresas aisladas, sino que se da entre cadenas de suministro. Es por esto por lo que, nuestra propuesta de diseño de la red de distribución se pretende abordar por medio de una estrategia de colaboración que busque brindar al país una posición sólida en el mercado.

## 1.2 OBJETIVO

Demostrar mediante un modelo de simulación que la participación colaborativa de los centros de acopio ofrece un beneficio mayor que sus participaciones individuales en la red de aguacate hass colombiana, generando una mayor eficiencia para todo el sistema.



### 1.3 HIPÓTESIS

Mediante un modelo de simulación se demuestra que se genera una mayor eficiencia en la red de aguacate hass colombiana cuando los centros de acopio trabajan de manera colaborativa, ofreciendo un beneficio mayor que sus participaciones individuales.

### 1.4 JUSTIFICACIÓN

Las economías dependen en mayor parte del funcionamiento eficiente de la distribución de bienes. Si la red de distribución deja de funcionar, los consumidores sufren de la escasez de los productos que requieren, y los fabricantes no pueden vender sus mercancías ni obtener ganancias.

Cuando hacemos referencia a una cadena de suministro agroalimentaria, el impacto de la distribución se hace mucho más visible, pues este tipo de cadenas se caracteriza principalmente por la restricción del tiempo de vida de los productos, por lo que la calidad se ve comprometida desde el suministro hasta el consumidor final. lo anterior se genera debido a los riesgos presentes durante los procesos de abastecimiento, producción, siembra, manufactura, transformación y distribución; haciendo a esta única y significativamente diferente de cualquier otra cadena de suministro.

Van der Vorst *et al.* (2007), resaltan que como consecuencia del aumento de la demanda de alimentos y de la necesidad de diseñar mejores sistemas de seguimiento, trazabilidad y preservación de los productos agroalimentarios se ha impulsado en los últimos años el desarrollo de la logística de las cadenas de suministro agroalimentarias. Esto teniendo en cuenta que los productos que se cosechan por lo general se ubican en determinadas regiones para la plantación, pero el consumo de estos se distribuye a nivel nacional e internacional.

Es posible encontrar diferentes alternativas para el diseño de sistemas de distribución, pero dependiendo del tipo de datos con los que se cuente se puede proponer un tipo de solución. Un ejemplo, son las simulaciones, cuya implementación como apoyo a la toma de decisiones gerenciales, es una práctica cada vez más común en las empresas y su aplicación puede enriquecer de manera significativa la operatividad del negocio, así como también aportar en la continuidad de las empresas en los mercados competitivos actuales.

Para efectos de esta investigación, se propone la implementación de un modelo de simulación. Herramienta que a través del análisis de diferentes escenarios, contribuirá a mejorar la eficiencia de una red de distribución agroalimentaria.

Las mejoras en un sistema de distribución por medio de la modelación de diferentes escenarios que permitan la construcción de un flujo de bienes a lo largo de la cadena de suministro, proporciona una perspectiva más amplia y organizada de la toma de decisiones y permite respaldar el conocimiento basado en la experiencia por medio de un tratamiento objetivo. Las empresas requieren de una estrategia de distribución bien argumentada que contribuya a establecer un camino de acción más certero y propicie a establecer el mejor flujo de productos en la red acorde a las pautas que surgan desde el mercado, procurando siempre obtener el máximo beneficio económico como resultado de mejorar la eficiencia de todo el sistema y de evitar una ejecución incorrecta en la distribución.

## 1.5 METODOLOGÍA

La primera etapa de esta investigación es una fase exploratoria, donde se lleva a cabo una profunda pesquisa sobre la configuración real de la red de distribución del aguacate hass en Colombia, además de una revisión documental sobre conceptos, investigaciones, y archivos relacionados a las cadenas de suministros agroalimentarias y el diseño de redes de distribución, con la finalidad de obtener una visión de la

operación del sistema. Posteriormente se analizan diferentes herramientas implementadas para establecer mejoras en estas redes y conforme a la información recabada se optó por la implementación de una simulación Montecarlo con parámetros estocásticos aplicada a un diseño de experimentos de distintos escenarios, para que a través del análisis de sus resultados se consiga apoyar el proceso de toma de decisiones en lo que respecta a la distribución del aguacate hass a lo largo de la cadena.

## 1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La presente tesis, dentro de su primer capítulo describe el problema que se pretende abordar y por qué es importante realizarlo, de igual manera se define el objetivo de la investigación, la hipótesis a demostrar y una breve introducción acerca de la metodología propuesta para resolverlo.

En el segundo capítulo se abordan los antecedentes y principales conceptos que sustentan la investigación, fundamentándose en información y diversas teorías en el plano de logística y cadena de suministro, cadena de suministro agroalimentaria, la importancia de la distribución y los principales problemas que se pueden encontrar en esta etapa, entre otros tópicos relacionados.

El tercer capítulo expone la metodología propuesta, el conjunto de etapas y el desarrollo de la herramienta correspondiente para la resolución de la problemática, explicando los fundamentos así como las circunstancias y términos para aplicarla.

Posteriormente, se encuentra el cuarto capítulo donde se muestra la aplicación de la herramienta, sumado a los diferentes escenarios de simulación experimentados.

El capítulo de resultados incluye los hallazgos encontrados en el proyecto como fruto de la aplicación de la herramienta de simulación.

Y, por último, el capítulo final concentra las conclusiones y contribuciones

---

derivadas de la investigación, adicionando las posibles líneas de investigación que se desprenden del presente trabajo.

## CAPÍTULO 2

# REVISIÓN DE LA LITERATURA

---

El presente capítulo incorpora los principios básicos de la investigación, partiendo de temas como la logística y cadena de suministro, generalidades de la industria del aguacate hass, así como lo inherente al diseño de redes de distribución que incluye los estudios y herramientas que han sido empleadas para resolver problemáticas de este giro a lo largo del tiempo dada la importancia que representa para las empresas, lo que en conjunto constituye aspectos clave para el desarrollo y la comprensión del proyecto.

## 2.1 LA LOGÍSTICA Y SU IMPORTANCIA EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Debido a la actual configuración de las condiciones económicas, sociales y comerciales, la producción, comercialización y distribución de bienes se ha convertido en un reto dinámico debido a los complejos esquemas operativos que se necesitan para atender los requerimientos de la demanda en los mercados que se encuentran dispersos geográficamente, considerando además la prevalencia de un entorno altamente cambiante (Jiménez y Hernández, 2002). Como consecuencia se requiere una gestión activa y efectiva, por lo que las organizaciones deben contemplar los medios

para poder cumplir con los procedimientos para entregarle al cliente, más allá de un producto tangible, una experiencia de compra única e irrepetible (Camacho *et al.*, 2012). Lo que es posible de alcanzar mediante la alineación de todos los actores que participan del proceso.

Los actores que intervienen en la transformación de un bien o servicio desde el abastecimiento y hasta que éste llega de manera satisfactoria a las manos del cliente, se encuentran entrelazados y el mal funcionamiento de uno se ve reflejado negativamente en otros agentes. Cada proceso contribuye en la formación de eslabones que al final buscan obtener la satisfacción de las necesidades del cliente o consumidores con una orientación hacia la competitividad y generación de valor (Osorio *et al.*, 2011). Dicha perspectiva ha adquirido trascendencia en el ámbito empresarial y desarrolla un enfoque que conecta proveedores, productores y distribuidores, por lo que el conjunto de operaciones y la interacción de los elementos participantes, dan origen al concepto de cadena de suministro.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace indispensable hacer alusión a la definición de cadena de suministro. Chopra y Meindl (2008) exponen que es la unión de todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente. Se resalta que no sólo incluye lo referente a la manufactura y los proveedores, sino que abarca también transporte, almacenamiento, distribución, minoristas e inclusive al propio cliente y las funciones que se originan de realizar los movimientos antes descritos. Por su parte, Lambert (2008) expone que consiste en la integración de los procesos clave del negocio, servicios e información, de los proveedores, productores y distribuidores que agregan valor para el cliente y *stakeholders* o grupos de interés. Con la introducción del concepto de cadena de suministro en el área empresarial, se fomenta la asociatividad con clientes y proveedores al considerarlos como integrantes de su esquema esencial (Jiménez y Hernández, 2002).

Para alcanzar un nivel de coordinación congruente entre los diferentes actores

de la cadena de suministro, se requiere de la logística, concepto relacionado directamente a la alineación de las actividades a lo largo de la cadena y se visualiza como el proceso interno que busca optimizar el flujo de productos y la utilización de los recursos en las empresas. La logística también se considera un actor generador de ventajas competitivas al momento de abordarla estratégicamente y como la fuerza de interacción e integración entre las partes de la cadena (Sánchez, 2008). Bowersox *et al.* (2002) remarcan la relevancia de integrar las actividades logísticas de todos los miembros del canal de aprovisionamiento con el objetivo de aumentar el valor ofrecido al cliente final, haciendo énfasis en la reducción de costos, en especial a través de la gestión de la información y la coordinación entre los participantes de dicho canal.

Existen diversas definiciones que buscan consolidar un concepto de logística, siendo un tema central para la presente investigación, en primera instancia se tiene la definición desarrollada por Lambert *et al.* (1998), exponiendo a la logística como una parte de la gestión de la cadena de suministro que se encarga de planificar, implementar y controlar el flujo de los materiales e información de manera eficiente y efectiva, y almacenar productos desde el origen hasta el punto de consumo con la finalidad de satisfacer a los consumidores. Continuando por esta línea, el Council of Supply Chain of Management Professionals (2013) también aborda la gestión de la logística, donde el término figura como una parte de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el flujo y almacenamiento de los bienes, servicios e información, de manera bidireccional, desde el punto de origen hasta el punto de consumo para satisfacer los requerimientos del cliente o consumidor. Sánchez (2008) señala que el consumidor debe ser atendido en primer lugar ya que no se puede tener una correcta gestión logística sin conocer primeramente las necesidades del cliente y aspectos valorados, los cuales se deben tener en cuenta para desarrollar los procesos logísticos.

Por otra parte, Ballou (2004) argumenta que la logística y la cadena de suministro integran en conjunto actividades funcionales como los inventarios, el transporte,

distribución, entre otras, que reinciden durante el canal en todos los eslabones. Dichas actividades permiten la transformación de los insumos o materias primas en los productos terminados con lo que se agrega cierto valor para el consumidor, lo que representa un concepto más extenso dado que es importante recalcar que a lo largo de toda la cadena hay diversos puntos de origen y destino (ya sea de materia prima, producto terminado, información, dinero, entre otros) que se encuentran separados por tiempo y distancia, donde la configuración de la red de distribución juega un rol importante en la definición de la dinámica de una cadena, lo que la convierte en motivo de estudio para efectos del presente trabajo de investigación.

## 2.2 CADENAS DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIAS

La liberalización global ha resultado en la integración de las cadenas de suministro agrícola en los mercados mundiales. Este desarrollo permite vincular las producciones agrícolas tradicionales con los mercados modernos, como los mercados de exportación o los supermercados nacionales.

Autores como Caiazza y Volpe (2013), señalan que una cadena de suministro agroalimentaria es el conjunto interdependiente de instituciones, empresas y mercados que contribuyen a la producción, procesamiento y distribución de productos agrícolas para satisfacer las necesidades nutricionales de una sociedad de personas. En este tipo de cadenas es usual que diferentes compañías colaboren estratégicamente en una o más áreas mientras preservan su propia identidad y autonomía. Es muy común identificar más de una cadena de suministro y más de un proceso comercial, tanto en paralelo como secuencialmente en el tiempo (Van der Vorst *et al.*, 2007).

Si bien es cierto, que fue sólo hasta principios de la década de los noventa que los académicos describieron por primera vez la gestión de la cadena de suministro desde un punto de vista teórico para aclarar cómo se diferenciaba de los enfoques más tradicionales (Christopher, 1998), el origen del término que hoy conocemos como



cadena de suministro agroalimentaria es mucho más reciente y su investigación desde diferentes áreas de la ciencia se encuentra en aumento.

### 2.2.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Este tipo de Cadenas de Suministro tiene algunas características que ameritan especial atención, y es de suma importancia reconocerlas para la generación e implementación de cualquier tipo de propuesta que se quiera implementar. En la tabla 2.1, se resumen las propiedades más comunes que se encontrarán en la literatura.

Tabla 2.1: Características más sobresalientes de una Cadena de Suministro Agroalimentaria

<b>Etapas de la cadena de suministro</b>	<b>Características del producto y proceso</b>
En general	Restricciones de vida útil para materias primas, productos intermedios y terminados. Además cambios en el nivel de calidad del producto mientras progresa la cadena de suministro.
Productores	Largos tiempos de producción (producción de productos nuevos o adicionales toma mucho tiempo)
	Estacionalidad en la producción.
	Variabilidad de calidad y cantidad de suministro.
Industria procesadora	Sistema de producción de gran volumen y baja variedad.
	Maquinaria altamente sofisticada y de uso intensivo de capital que conduce a la necesidad de mantener la utilización de la capacidad.
	Rendimiento del proceso variable en cantidad y calidad debido a variaciones biológicas, estacionalidad, factores aleatorios relacionados con el clima, plagas y otros peligros biológicos.
	Una posible necesidad de esperar los resultados de las pruebas de calidad.
Mayoristas/Minoristas	Variabilidad de calidad y cantidad de suministro de insumos basados en granjas.
	El suministro estacional de productos requiere abastecimiento global (durante todo el año).
	Requisitos para medios de transporte y almacenamiento condicionados.

### 2.2.2 FACTORES RELEVANTES EN EL DESARROLLO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO

Una cadena de suministro agroalimentaria opera en un ambiente de tiempo crítico, complejo y muy dinámico, donde la integridad del producto juega un papel elemental, existe un alto grado de certeza de que los productos contarán con cierto estándares de calidad. Bourlakis y Weightman (2004), describen seis factores claves en la evolución y desarrollo de una cadena de suministro agroalimentaria:

- Calidad: Asegurar la calidad se ha convertido en una importante herramienta de gestión en las cadenas, debido a que este factor muestra el grado de congruencia entre las expectativas de los consumidores y su realización.
- Tecnología: La evolución y el alcance de las cadenas ha sido impulsado por el deseo de innovar en los procesos en búsqueda de integración, eficiencia y productividad. Algunas de las mejoras generadas por este factor son: alcanzar pesos exactos, refrigeración, crecimiento bacteriano atmosférico controlado, reconocimiento electrónico de embalaje, GPS en transportes, entre otros.
- Logística: Entendiéndose como un factor clave dentro de la gestión de cadenas de suministro al contribuir en la alineación de procesos internos y externos en una empresa.
- Tecnología de la información: El soporte brindado por este factor se ve reflejado en la velocidad con la que se pueden mover los productos entre cada eslabón.
- Marco regulatorio: Las normas socio-políticas impactan drásticamente las operaciones de una cadena agroalimentaria. Este factor pone en evidencia las preocupaciones de los consumidores en cuestiones como seguridad en los alimentos, etiquetado y trazabilidad de los productos.
- Consumidores: Es el factor que marca el ritmo en toda la cadena. Por lo tanto,

información como, tipo, cantidad, calidad y destino, son variables trascendentes que solo pueden ser pactadas con los consumidores.

## 2.3 FUNDAMENTOS DE DISTRIBUCIÓN

Como se expuso anteriormente, la cadena de suministro consiste en un sistema de elementos clave que deriva en relaciones ordenadas y estrechas donde la distribución es uno de ellos. Este proceso es un componente de gran relevancia dentro del costo total de producción de un bien, ajustandose según la naturaleza del producto o la industria que se está analizando (Estrada, 2007) e impacta de manera positiva o negativa la rentabilidad del negocio, gracias a que afecta de manera directa tanto los costos de la cadena como la experiencia del cliente (Chopra y Meindl, 2008).

Ballou (2004), resalta la importancia y la complejidad de la configuración de la distribución en el horizonte de las empresas que de acuerdo a la tendencia de integración económica mundial que se vive, buscan o desarrollan estrategias globales, diseñando sus productos para un mercado mundial y produciéndolos donde la materia prima, los componentes y la mano de obra puedan hallarse a bajo costo, o simplemente producen localmente y venden a nivel internacional, como es el caso de la industria que se está analizando en esta investigación.

Continuando con las aportaciones de Chopra y Meindl (2008), la distribución hace referencia a los pasos a tomar en consideración para mover y almacenar un producto desde el proveedor hasta el cliente y ocurre entre cada par de etapas de la cadena de suministro.

La configuración de redes de distribución surge por la necesidad de conectar y transportar los bienes de consumo desde su punto de producción hasta el mercado (Estrada, 2007). En la etapa de distribución, la mercancía puede ser llevada mediante diferentes modos de transporte (ferroviario, aéreo, marítimo, fluvial o por carretera)

y puede realizar varias paradas en almacenes o nodos hasta llegar a su destino final. El diseño adecuado de estas redes contribuye a alcanzar diferentes objetivos de la cadena de suministro que pueden ir desde un bajo costo o una gran capacidad de respuesta.

### 2.3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN

Teniendo en cuenta que el diseño de redes de distribución hace parte de una planeación estratégica, el nivel jerárquico empresarial más alto debe evaluar el desempeño de una red de distribución en dos dimensiones generales:

1. Las necesidades del cliente que se satisfacen.
2. El costo de satisfacer las necesidades del cliente (Chopra y Meindl, 2008).

Lo anterior nos muestra, que a pesar de ser evaluadas diferentes opciones de redes las empresas deben medir el impacto de las mismas sobre el servicio al cliente y el costo de satisfacerlo. Si bien es cierto que el servicio al cliente consta de diversas variables, para autores como (Chopra y Meindl, 2008) las que más impacto tienen sobre la configuración de una red de distribución son, tiempo de respuesta, variedad de producto, disponibilidad del producto, experiencia del cliente, tiempo para llegar al mercado, visibilidad del pedido y retornabilidad.

La tabla 2.2, muestra una comparación de los factores anteriores entre las cadenas de suministro agroalimentarias e industriales.

Tabla 2.2: Diferencias entre cadenas de suministro

Variable	Cadena de suministro agroalimentaria	Cadena de suministro industrial
Tiempo de respuesta	Es limitado teniendo en cuenta en que algunas temporadas del año se requiere de mayor tiempo para reunir los volúmenes mínimos requeridos por contenedor.	Según el grado de desarrollo de la cadena, puede llegar a ser un factor más predecible para cada orden de compra.
Variedad de producto	Baja variedad, debido a que tienden a especializarse en un solo producto.	Cambia en función del grado de madurez en investigación y desarrollo.
Disponibilidad de producto	Directamente proporcional a la fase del ciclo de producción.	Se relaciona con la exactitud de los planes de producción o la flexibilidad de las líneas productoras.
Experiencia del cliente	Medida principalmente por la calidad del producto.	Ligada conjuntamente al tiempo de entrega y la calidad del producto.
Tiempo para llegar al mercado	Dependiendo del producto se puede obtener una flexibilidad.	Se busca siempre el menor tiempo posible.
Visibilidad del pedido	Ausencia de tecnología.	Plus para mejorar la experiencia del cliente.
Retornabilidad	Cuando se trata de productos perecederos no es una opción.	En algunos casos es un proceso que de planearse correctamente representa ganancias significativas.

### 2.3.2 ALGUNAS ESTRATEGIAS QUE PERMITEN PLANIFICAR UNA RED DE DISTRIBUCIÓN

La estrategia más adecuada en un sistema de distribución debe responder a un balance de los distintos costos logísticos que interactúan, tales costos son los relacionados a transporte, inventario, manipulación y de amortización asociados a los almacenes y centros de consolidación. Con lo anterior, se desarrollaron algunas estrategias básicas que al ser combinadas permiten planificar un sistema de distribución.

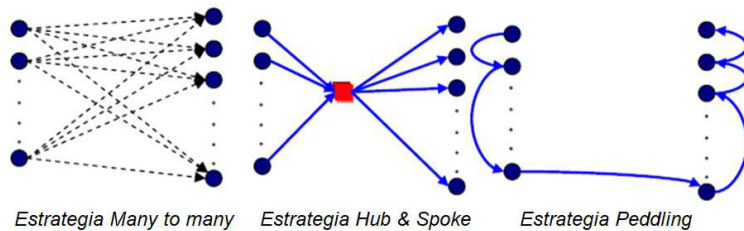


Figura 2.1: Estrategias básicas que permiten planificar un sistema de distribución.

Fuente: (Estrada, 2007)

De acuerdo con Estrada (2007), las mencionadas estrategias que se pueden apreciar en la figura 2.1, se resumen en:

- Envíos directos (*many-to-many*): Se caracteriza porque los envíos se pueden realizar desde cualquier punto de origen hacia cualquier punto de destino dentro de la red.
- Envíos *hub and spoke*: Cuenta con centros de consolidación de carga (*Hubs*) ubicados estratégicamente dentro de la red para concentrar la mercancía y optimizar la capacidad de los vehículos en escenarios con una distribución espacial de demanda no uniforme.
- Envíos con paradas múltiples: Esta formada por un número reducido de rutas compuestas por un alto número de paradas.

Resulta muy importante resaltar que al tener todas las empresas una realidad diferente, con mucha frecuencia se obtiene como resultado que a pesar de pertenecer a la misma industria existan compañías con estrategias de redes de distribución diferentes. No obstante, la estrategia más implementada en las cadenas de suministro agroalimentarias es la conocida como *many-to-many*.

### 2.3.3 PROBLEMAS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN

En los enunciados anteriores, se ha desarrollado los conceptos de cadena de suministro, logística y distribución, así como también se han expuesto los factores relevantes que se deben considerar para el diseño de una red de distribución y diferentes estrategias que apoyan la planificación de esta herramienta.

En este apartado se presentan de manera general los dos tipos de problemas de distribución más frecuentes que reposan en la literatura, según la revisión de López (2013):

- **Problemas de diseños de redes:** Son un conjunto de problemas que tienen como meta encontrar la configuración o un diseño adecuado de una red, de forma que se cumplan ciertos criterios de servicio y conectividad. Este tipo de problema es el que se aborda en la presente investigación.
- **Problemas de optimización del uso de una red:** Se asume la existencia de una red, por lo que no es el diseño de una red, sino la optimización del uso de la misma.

Se encontró que para abordar alguno de estos problemas, existen diferentes herramientas ya sean cualitativas o cuantitativas, la selección de una o de la otra depende de cada caso particular. Pero a continuación se hablará de cuales podrían ajustarse al problema de esta investigación y de la que finalmente se seleccionó.

Una de las herramientas cualitativas más conocida es el Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF), implementada para evaluar modos de falla potenciales para un producto o proceso; proporcionando directrices de decisión basadas en elementos de costo y calidad (Chao y Ishii, 2007). Sin embargo, aunque fue desarrollado hace aproximadamente 70 años y es un método bien establecido, Spreafico *et al.* (2017) argumentan que todavía presenta importantes deficiencias que comprometen, la mayoría de las veces, su uso como método de diseño, por lo que hay muchos investigadores, tanto de la academia como de la industria, dedicados a mejorarlo y superar problemas sin resolver y aún abiertos.

La literatura también habla del Método Delphi, Utilizado para desarrollar escenarios futuros (Nowack *et al.*, 2011) por la academia, industria y gobiernos. Se sugiere que, cuando se enfrenta un futuro incierto, es importante recoger las opiniones de los expertos y llegar a un consenso (Durance y Godet, 2010). Los expertos son seleccionados en base a su conocimiento en un área particular que se relaciona con el tema bajo investigación. La iteración del cuestionario es particularmente importante, ya que un estudio Delphi generalmente busca alcanzar un consenso grupal (Hasson *et al.*, 2000). Sin embargo, como el método Delphi se esfuerza por llegar a

un consenso sobre una serie de cuestiones, puede conducir a ideas menos innovadoras que otros métodos.

El uso de alguna de estas herramientas sería posible si existiera un mayor grado de asociatividad entre las empresas que integran la cadena de suministro del caso de estudio, debido a la interacción e información que las mismas demandan, por lo que la implementación de estos métodos cualitativos es más aplicable cuando se estudia el caso particular de una empresa y no un fenómeno que afecta toda la cadena de una industria.

Es por eso que a continuación, en la tabla 2.3 se pueden observar diversos trabajos que atienden la temática desde las herramientas cuantitativas y su aplicación en distintos ámbitos, con lo cual es posible analizar el diseño de redes de distribución distinguiendo los enfoques y herramientas empleados para su resolución. Los estudios se realizarán en redes de distribución de empresas que pertenecen a diferentes sectores y cuentan con condiciones operativas diferentes.

Tabla 2.3: Algunos métodos relacionados a problemas de redes de distribución.

Herramientas	Autor	Aplicación	Objetivo
Programación lineal	Chanchaichujit <i>et al.</i> (2016)	C.S de Caucho en Tailandia	Optimizar los beneficios ambientales en la Cadena de Suministro.
Programación lineal	González-Estudillo <i>et al.</i> (2017)	C.S de aguacate hass en México	Realizar una planeación estratégica para el cultivo de aguacate que satisfaga las demandas mientras maximiza las utilidades y el uso de los recursos naturales.
Programación lineal	Zhang <i>et al.</i> (2012)	Industria	Optimizar una red de distribución difusa a través de un sistema de soporte de decisiones basado en la web.
Sistemas dinámicos	Lee <i>et al.</i> (2018)	C.S. de repollo en Korea	Determinar cómo el cambio en el suministro puede afectar los cambios de precios en los agentes a través de la red de distribución.
Simulación híbrida: discreta/continua	Manzini <i>et al.</i> (2005)	Industria	Contrastar los resultados de 5 casos de estudio a nivel industrial, donde se simulan condiciones operativas combinadas con diferentes configuraciones del sistema.
Simulación Montecarlo con parámetros estocásticos	Escobar <i>et al.</i> (2013)	Industria	Simular la red de distribución de una empresa para determinar decisiones de expansión o contracción en algunos eslabones.



Por las características propias de las redes de distribución y la incidencia que sus decisiones tienen en todo el sistema de abastecimiento, el campo de las áreas del conocimiento relacionadas con la problemática de la investigación es bastante amplio. En la anterior tabla 2.3 se exponen algunas de las herramientas que han sido empleadas con anterioridad. La revisión literaria adelantada señala que la herramienta más usada es la programación lineal, técnica que por medio de modelos matemáticos, tanto estocásticos como determinísticos, involucra la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo. Su tipo más conocido de aplicación involucra el problema general de asignar forma óptima, recursos limitados a actividades que compiten entre sí por ellos.

Las pesquisas adelantadas por Chanchaichujit *et al.* (2016) y González-Estudillo *et al.* (2017) donde se hace uso de la programación lineal, dejan en evidencia el interés actual que despiertan las cadenas de suministro agroalimentarias en la investigación mundial; así como el impacto que generan las mismas no solo en temas económicos, sino también medioambientales.

Por otro lado, adicional a los métodos exactos, se encuentran otros métodos de solución aproximados como: heurísticos, metaheurísticos, de simulación, dinámicos y estocásticos (Drezner y Hamacher, 2002). Como principal característica de los métodos heurísticos y metaheurísticos, a pesar de que sus soluciones son aproximadas y no podrán encontrar el óptimo, su velocidad de resolución es menor, en contraste con los métodos exactos. Las metaheurísticas son estrategias maestras inteligentes para diseñar o mejorar los procedimientos heurísticos. Además de que tienen gran flexibilidad para modelar la realidad.

Los modelos dinámicos y estocásticos son otra opción. La diferencia entre ellos es que los dinámicos consideran que los cambios de los parámetros a través del tiempo son conocidos con certeza. Actualmente es una herramienta que cubre un amplio campo de aplicaciones, existen modelos económicos, matemáticos, sociológicos, ecológicos y de otros tipos que son sistemas abstractos que también son sistemas

dinámicos. El comportamiento de determinado estado se puede caracterizar definiendo los límites del sistema, los elementos y sus relaciones; de esta manera se pueden construir modelos que buscan representar la estructura. Los dinámicos se dividen en explícitos, cuando las instalaciones no tienen cambio en el tiempo e implícitos, cuando las instalaciones sufren cambios. Por otra parte, los modelos estocásticos reconocen que existen cambios, sin embargo, hay un grado de incertidumbre respecto a parámetros como la demanda, el tiempo en tránsito, los costos fijos y la distancia. Es decir, los estocásticos reconocen el cambio de los parámetros, pero desconocen como lo hacen.

Finalmente, la simulación es un instrumento que en los últimos años ha ganado importancia en el apoyo de toma de decisiones a nivel empresarial. No logran obtener un resultado óptimo, pero se aproximan a él. Esta técnica involucra el uso de una computadora para imita la operación de un sistema del mundo real y su evolución con el tiempo. Esto se hace con la implementación de un modelo de simulación, que usualmente toma la forma de un conjunto de suposiciones sobre la operación del sistema, que se expresa como relaciones matemáticas o lógicas entre los objetos de interés en el sistema.

La principal ventaja de la simulación es la flexibilidad que ofrece a la hora de representar el sistema real, teniendo en cuenta que una vez construido el modelo, se puede usar una y otra vez para analizar diferentes escenarios al modificar las políticas, parámetros o diseños.

Los modelos de simulación pueden ser clasificados teniendo en cuenta las características de sus criterios:

- Evolución del tiempo
  - Estáticos: representan un sistema en un instante particular. Usualmente conocida como simulación de Monte Carlo.
  - Dinámicos: representan un sistema que evoluciona con el tiempo.

- La aleatoriedad
  - Deterministas: no considera variables aleatorias. Dados unos datos de entrada, existe un único conjunto de datos de salida.
  - Probabilistas o estocásticos: contienen variables aleatorias que representan incertidumbre. Las salidas son aleatorias (estimaciones de las verdaderas características).
- Las variables de estado
  - Continuos: cuando las variables de estado cambian de forma continua con el tiempo.
  - Discretos: cuando las variables de estado cambian en determinados instantes de tiempo. Se conocen como eventos aquellos sucesos que pueden producir un cambio en el estado el sistema. A estos modelos también se les define modelos de simulación de eventos discretos.
  - Híbridos o combinados: cuando incluyen variables de estado continuas y discretas.

A pesar de la gran variedad de métodos, uno de los más comunes en investigación de operaciones es la simulación Monte Carlo, al ser una técnica capaz combinar conceptos estadísticos con la capacidad que tienen los ordenadores de generar números pseudo-aleatorios y automatizar cálculos. Da solución a una gran variedad de problemas haciendo experimentos con muestreos aleatorios en una computadora. El método es aplicable a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinístico.

Por medio de la revisión de la literatura, se pudo determinar que a pesar de ser una herramienta frecuente entre investigadores de diferentes áreas, se encontró que hay una gran ausencia de publicaciones donde se implemente esta técnica en cadenas de suministro agroalimentarias, por el contrario se conocen algunas aplicaciones a nivel industrial como es el caso del trabajo realizado por Escobar *et al.* (2013). Por lo que hace parte de esta investigación demostrar la utilidad de este método en cadenas

de suministro agroalimentarias. Para lo que se desarrollará la simulación de la red de distribución que más se adapte a las características del caso de estudio.

En el siguiente capítulo se desarrolla la metodología que se considera conveniente, construida para dar solución a la problemática planteada dentro de esta investigación.

## CAPÍTULO 3

# METODOLOGÍA

---

Proponer mejoras en redes de distribución es una temática que ha sido abordada con la implementación de diferentes metodologías y herramientas. El impacto del flujo de la mercancía desde un punto de inicio hasta un punto de consumo se ve reflejado en cada eslabón de la cadena impactando en niveles de inventarios, decisiones de almacenaje, costos de flete y nivel de servicio entre otras variables. Con lo anterior, y el alza en el nivel de exigencia de los consumidores, así como el incremento en la competitividad entre cadenas de suministro, han generado que las empresas tengan una ventana más reducida para reaccionar frente a la incertidumbre.

Una posible respuesta a esta problemática es el uso de modelos de simulación, ya que cuentan con una metodología que permite analizar todas las soluciones posibles del problema presentado, encontrando entre ellas mejoras en el sistema.

Cuando se pretende resolver un problema por medio de un modelo de simulación, la investigación de operaciones establece unos pasos específicos que se deben seguir y que permitan alcanzar el objetivo de la pesquisa. A continuación, se describen esos pasos, como una metodología propuesta para la mejora de una red de distribución de un producto agrícola y se explica la manera en que se abordó la problemática identificada, a partir de la revisión documental mostrada en el capítulo dos. De esta forma se generó un procedimiento que permitiera dirigir la investigación

a una solución alcanzable, para posteriormente ser evaluada la viabilidad de su uso práctico, logrando así, el objetivo de mejora que se ha establecido.

### 3.1 METODOLOGÍA PARA MEJORAR UNA RED DE DISTRIBUCIÓN AGROALIMENTARIA MEDIANTE UN MODELO DE SIMULACIÓN

La presente metodología es de gran utilidad para generar escenarios simulados que imiten posibles comportamientos de variables críticas y permitan de manera efectiva y fundamentada, apoyar el proceso de toma de decisiones en una red de distribución agroalimentaria.

Antes de la implementación de la metodología, el investigador debe poner en consideración los requisitos de información como, agentes, ubicaciones, funciones, tiempos de traslados, costos de fletes, entre otros, que son necesarios para poder conocer el funcionamiento actual del sistema a simular.

Para llegar a este punto se elaboró una revisión de literatura que dio pie a un compendio de los elementos teóricos que dan sustento al proyecto. En primer lugar con la identificación de áreas de interés, donde se reunieron los aspectos clave y los factores críticos en los que se debe centrar el trabajo. En segundo lugar, se tuvo el desarrollo de conceptos importantes enfocados en las mejoras en redes de distribución, elementos de las redes, principales problemas y diferentes conceptos desarrollados del mismo tema. Posteriormente se contactaron diferentes empresas que hacen parte del sistema con la finalidad de corroborar la información recabada y obtener mas detalles de la operación.

Las etapas para desarrollar un modelo de simulación se presentan en la figura 3.1.

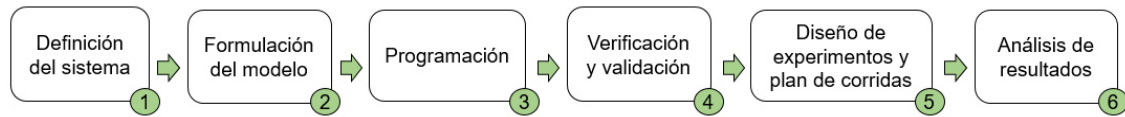


Figura 3.1: Esquema metodológico.

En las siguientes subsecciones se detallan las seis etapas que comprende la puesta en marcha de la metodología.

### 3.1.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

El primer paso en un proceso de simulación es clave, ya que una correcta definición y comprensión del problema permitirán obtener resultados acertados que logren atacar el problema real.

Esta etapa consiste en analizar previamente el sistema que se va a estudiar, identificando las necesidades de simulación una vez que se conocen los niveles de la cadena de suministro y sus importancia en la misma.

Esta etapa inicia con una investigación exploratoria, realizando una revisión documental de informes públicos e investigaciones de la cadena de suministro agroalimentaria con la intención de satisfacer la necesidad de información correspondiente a todos los detalles de operación, producción, distribución, agente, eslabones y la manera en que se relacionan.

Lo anterior, se complementa con entrevistas a personas que esten directamente involucradas con las operaciones de empresas que pertenecen a la cadena, con el objetivo de poder obtener información mucho más detallada de las actividades y las tomas de decisiones que se llevan a cabo.

Al final de esta etapa se debe contar con información acerca de la ubicación geográfica y cantidad de centros productivos, así como de las plantas de distribución, valores históricos de producción, calendario productivo, características del cultivo y

del producto , capacidad de cada contenedor, puertos disponibles, cuáles son las variables de decisión en cada punto, localización de los mercados internacionales, cantidades históricas exportadas, todas las distancias y posibles rutas entre los puntos, y los precios de transporte entre cada eslabón.

### 3.1.2 FORMULACIÓN DEL MODELO

El siguiente paso es la formulación de un modelo lógico apoyado con funciones matemáticas. La formulación del modelo comprende las siguientes fases:

1. Definir el objetivo que se desea alcanzar con el modelo de simulación. Aquí, también se realiza un adecuado planteamiento de los interrogantes que deberán contestarse. Los objetivos más comunes suelen ser el análisis del funcionamiento de un proceso, análisis de la capacidad del proceso, o saber si el proceso es capaz de hacer frente a requerimientos específicos, o bien un análisis de mejoras sobre un conjunto de valores de variables de decisión.
2. Identificar las restricciones que afectan al modelo de simulación es tan importante como definir los objetivos porque hace parte de la operación real del sistema que se está imitando. Usualmente, una restricción importante es el tiempo; no tiene sentido proyectar una simulación para resolver un problema si el tiempo de ejecución se extiende más allá del plazo posible para su resolución.
3. Concretar los supuestos. Conociendo que Bajo incertidumbre no toda la información está disponible, se deben dejar claros cuales serán los supuestos que se suponen en el modelo. Dentro de las ventajas de la simulación se encuentra el que los modelos no han de incluir todos sus detalles para poder ponerlos en funcionamiento; ello permite que en sus construcciones se vayan realizando refinamientos progresivos hasta conseguir el formato definitivo.
4. Precisar las relaciones y las variables de decisión que se van a considerar entre



los agentes que conforman el sistema. Esta tarea es de relevancia, ya que se define qué tipo de relaciones tienen las empresas en la cadena de suministro y factores son tomados en cuenta en el proceso de la toma de decisiones.

5. Análisis de datos. Es preciso hacer una clasificación de datos distinguiendo entre variables que dependen del tiempo, las que dependen de los recursos y las que dependen de determinadas condiciones, así como diferenciar las variables de entrada de las variables de respuesta.

### 3.1.3 PROGRAMACIÓN

Debido a que la simulación explora posibles soluciones del problema, el procesamiento de datos y el análisis de patrones u opciones, es por lo general, complejo. Por esto, es necesario que el modelo formulado con anterioridad sea representado en un software especializado que permita reducir el margen de error por factor humano o que contribuya a mejorar el tiempo de respuesta. En algunas ocasiones, incluso con el apoyo de herramientas tecnológicas, existen problemas cuyo nivel de complejidad impide que sean resueltos en tiempo satisfactorio, computacionalmente hablando.

Un adecuado diagrama de flujo facilitará la programación del modelo para correrlo en una computadora. También es importante diseñar informes de salida que sean comprensibles por parte de los usuarios y que permitan al especialista validar rápidamente el programa.

La selección del paquete más apropiado debe hacerse con especial cuidado. Se cuenta con softwares muy orientados a aplicaciones específicas, así como también, existe una gran diversidad de precios y posibilidades. Es por eso que debemos tener bien definido el enfoque del trabajo, es decir, si se trata de modelación matemática o de simulación computacional, y conocer el presupuesto disponible para este rubro.

Es posible encontrar una oferta amplia de softwares en el mercado, pero en la

tabla 3.1, se muestran algunos de los más conocidos y usados.

Tabla 3.1: Softwares más implementados.

Software	Implementación
Matlab	Efectua cálculo simbólico y numérico para modelos matemáticos endiferentes contextos de aplicación.
R	Software libre para computación estadística y gráfica. Provee una amplia variedad de técnicas estadísticas (modelamiento lineal y no lineal, pruebas estadísticas clásicas) que tiene diversas aplicaciones, una de ellas la simulación computacional.
FlexSim	En la actualidad, es uno de los softwares más poderosos para modelar, analizar, visualizar y optimizar procesos de manufactura, operación, cadenas de producción y hasta plantas industriales. Es el software líder en simulación y grandes empresas lo usan para previsualizar sus estrategias de expansión, para optimizar la administración, mejorar procesos, determinar su capacidad o minimizar costos y errores operativos.
MiniTab	Utilizado para la creación de modelos para investigación de operaciones, cuenta con características útiles para la generación de gráficos, el análisis de comportamientos por diversos tipos de regresiones, análisis de varianza, control estadístico de procesos, diseño de experimentos, entre otros.
GAMS	Es utilizado para el modelado de sistemas para la optimización matemática. Está diseñado para modelar y resolver problemas lineales, no lineales y optimización entera mixta modelado.

### 3.1.4 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

Cada modelo es construido bajo diferentes parámetros, en algunos casos unos de los elementos a validar son los parámetros de entrada del modelo; es decir, habrá que observar si la distribución de las variables simuladas ha respondido durante el proceso a la distribución asumida. Además, se deben verificar los parámetros de salida por medio de comparaciones con el comportamiento del mundo real.

Para la verificación se plantea comprobar el funcionamiento del modelo de simulación. Para esto es necesario contrastar que el valor de producción que el modelo genera, es el mismo valor que el modelo ofrece como salida, el cual representa la cantidad de producto exportada. Esto nos indica que toda la información que ingresa al modelo es la misma que sale.

Una vez verificado el modelo, se debe validar que la información que la simulación arroja hace una representación válida de la realidad. Primero se requiere conocer un promedio de expectativa de producción y una proyección de las exportaciones para el periodo que se va analizar del sistema real. Después, se contrastan esos valores con el total de producción y exportación que ofrece la simulación. Si los valores son aproximados significa que la manera en la que se formuló el modelo refleja en gran medida la operación del sistema que estamos simulando.

En el caso de que se observe que el modelo no responde a la realidad que se estudia, deberá revisarse su formulación en cualquiera de las etapas anteriores del procedimiento de instalación que hemos estudiado.

### 3.1.5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

La experimentación es una parte fundamental en la mayoría de investigaciones científicas e industriales, en muchas de las cuales, los resultados del proceso analizado están afectados por la presencia de diferentes factores, cuya influencia puede

estar oculta por la variabilidad de los resultados muestrales. Por lo tanto, se hace indispensable conocer los factores que influyen realmente y estimar esta influencia. Para lograr esto es necesario experimentar, variar las condiciones que afectan a las unidades experimentales y observar la variable respuesta.

En otras palabras, los diseños experimentales intentan establecer relaciones causa-efecto. Concretamente, cuando se desea estudiar como una variable independiente modifica una variable dependiente.

Existen diversos diseños experimentales para analizar los problemas o situaciones que ocurren en la práctica. Dentro de los más implementados sobresalen en primer lugar los diseños con enfoque de la mejor conjetura, funciona de manera adecuada si los experimentadores cuentan con una gran cantidad de conocimientos técnicos o teóricos del sistema que se está estudiando. El enfoque de un factor a la vez, se selecciona una línea base de los niveles para cada factor, para después varias sucesivamente cada factor en su rango, manteniendo constantes los factores restantes en el nivel base. También, se encuentra el diseño factorial, considerado como el enfoque adecuado para trabajar con varios factores. En esta estrategia los factores se hacen variar en conjunto, por lo que se hace uso más eficiente de los datos experimentales. En esta etapa de la metodología es esencial elegir el más adecuado para la situación dada de la cadena de suministro.

En esta fase, se debe determinar la variable dependiente, es decir aquella cuyo resultados se ven afectados por diferentes configuraciones y son de gran importancia para el objetivo de la investigación. Seguido a esto, se definen cuáles serán los factores del diseño y sus niveles. Para este punto se consideran los factores que en la operación real pueden llegar a ser modificados. Una vez definido lo anterior, se procede a identificar todas las combinaciones posibles, determinando así las corridas del diseño con una sola replica. Finalmente, se precisa el número de replicas.

Durante una corrida se identifica el estado del sistema a intervalos de tiempo que pueden ser fijos o variables. Si la corrida ha sido suficientemente larga, pueden

sustraerse algunas conclusiones para las condiciones en las que operó el proceso. Posterior a esto, se pueden hacer reajustes en los atributos que rigen el comportamiento del sistema, ya sean factores endógenos o exógenos, y se corre nuevamente el modelo.

### 3.1.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la simulación serán más precisos en la medida que la longitud de la corrida sea mayor. En algunas aplicaciones se requiere una gran cantidad de corridas para obtener una solución aceptable desde un punto de vista estadístico. En algunos casos es imposible evaluar todas las posibles soluciones al problema, por lo que se consideran solo algunas de ellas y se debe elegir la mejor solución entre las alternativas planteadas. De tal modo, se puede llegar a una buena solución, a pesar de no ser la óptima.

Para alcanzar un adecuado análisis de los resultados, estos deben ser analizados por medio de una prueba estadística para determinar diferencias entre medias, y establecer si hay o no normalidad en los datos; dependiendo de ello, se debe escoger entre aplicar pruebas paramétricas y no-paramétricas.

## 3.2 METODOLOGÍA APLICADA AL CASO DE ESTUDIO

En la presente sección se explicará la anterior metodología aplicada a la cadena de suministro del aguacate hass en Colombia.

### 3.2.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

La investigación exploratoria para este caso de estudio recopila informes sobre la cadena de suministro del aguacate hass en Colombia, presentados principalmente

por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto Colombiano Agropecuario, Red de Información y Comunicación de Sector Agropecuario Colombiano (Agronet). Así mismo, investigaciones como las lideradas por la Universidad Pontificia Bolivariana, denominada como Manual técnico poscosecha del aguacate hass, y de la Universidad de Ibagué, Universidad del Tolima y Servicio Nacional de Aprendizaje, conocido como Protocolo de buenas prácticas para poscosecha de aguacate hass. También, se sustrajó información de algunos trabajos de tesis como por ejemplo el de Ibarra (2015).

Se contó con el apoyo de Esteban Meneses, gerente de la compañía *Hass Colombia SAT*, empresa que se dedica a la distribución internacional del producto. Gracias a ese contacto, se conocieron detalles de las actividades de las plantas de empaquetamiento y distribución a nivel nacional, además, de poder tener contacto directo con los productores, que fungen como proveedores de esta empresa.

Esta cadena cuenta con tres niveles de operación. El primer nivel hace referencia a los centros productivos, representados por 37 municipios localizados en 8 estados del territorio colombiano. En el siguiente nivel se encuentran los centros de acopio y distribución, los cuales en total suman 7 plantas ubicadas estratégicamente en las zonas productivas. Finalmente, en el tercer nivel, tenemos a los clientes internacionales, quienes están representados por 5 países: Estados Unidos, Francia, España, Reino Unido y Holanda. Los países europeos son los actuales clientes más importantes para este producto en Colombia, mientras que Estados Unidos representa un nuevo socio comercial con mucha expectativa de crecimiento en la relación comercial.

Dependiendo la zona del país, los centros productores pueden tener un ciclo productivo diferente. Tal y como se muestra en la figura 3.2.

Origen	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Oriente deAntioquia												
Norte del Tolima												
Eje cafetero												
Suroeste Antioqueño												
Cauca												
Valle del Cauca												
Santander												

Figura 3.2: Calendario de producción de aguacate hass en Colombia

En la actualidad, a pesar del aumento de la asociatividad por región, la cadena de suministro se desarrolla en un ambiente competitivo, donde existe un juego de precios que hace que cada empresa persiga objetivos independientes.

La demás información que se recuadó sobre la operación de la cadena, es la base para la siguiente etapa de formulación.

### 3.2.2 FORMULACIÓN DEL MODELO

La función objetivo que se definió para el modelo aumentar la rentabilidad esperada de los centros de acopio.

#### Supuestos

- Los centros productivos están asociados por municipio.
- Se asume que la producción diaria de cada municipalidad sigue una distribución normal.
- Los parámetros de media y varianza para cada distribución cambian a lo largo del año.
- Suponemos que la media sigue una función trapezoidal en el tiempo y con la varianza procedemos en forma similar.

- Todos los municipios cuentan con el mismo conjunto de información para la toma de decisión de a qué centro de acopio venderá sus productos.
- Los Precios iniciales de venta de todos los municipios son iguales a la media nacional.
- Los enlaces con clientes internacionales son con probabilidad proporcional a la rentabilidad esperada.

### Restricciones

- Una cantidad fija de meses productivos efectivos en el año, las cuales serán siempre los mismos para determinado centro productivo.
- Envío mínimo de mercancía a los centros de acopio de 4.5 toneladas.
- Contratos fijos con tamaño igual a 70 % de la producción semanal de los municipios en la zona de influencia (radio de 130 kms) del centro de acopio. El 30 % se deja para consumo interno.
- Envío de volúmenes desde centros de acopio en múltiplos de 20 toneladas.
- Cantidades limitadas de producto, según la época del año.

### Indices de arreglos

<i>i</i>	Días del año	1,2...365
<i>p</i>	Centros Productores	1,2...37
<i>ca</i>	Centros de Acopio	1,2..7
<i>pue</i>	Puertos	1,2...4
<i>c</i>	Cliente Internacional	1,2...5

Para el desarrollo de la simulación se considera tres grupos de agentes principales.



1. **Centros de Producción** Para el primer caso se tiene a los productores aglomerados en sus municipios de producción. Se modelo la tasa de producción diaria de los diferentes municipios bajo la función trapezoidal de la siguiente manera:

$$\mu_{pi} = \begin{cases} 0, & \text{si } (i < a) \text{ o } (i > d) \\ \frac{i-a}{b-a} & \text{si } a \leq i \leq b \\ 1, & \text{si } b \leq i \leq c \\ \frac{d-i}{d-c} & \text{si } c \leq i \leq d \end{cases}$$

En donde  $p$  es el productor  $p$ ,  $i$  hace referencia al día  $i$  del año. Ahora  $a$  es el día del año en donde empieza el ciclo productivo del municipio  $p$ ,  $b$  y  $c$  son los días del año cuando empieza la mayor productividad del municipio y termina respectivamente. Finalmente  $d$ , es cuando finaliza el ciclo productivo del centro productivo  $p$ .

Para tener una función estocástica se usa la simulación montecarlo para determinar la producción usando la distribución normal.

$$Media = \mu_{pi}, \quad \text{Desviación} = \sqrt{\sigma \mu_{pi} \times \frac{1}{media}}$$

la media es calculada con los datos históricos de los centros productivos, información que fue tomada del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (20 de marzo de 2017). Se realizó una regresión lineal para estimar la producción total del centro productivo  $p$ , en donde se emplearon dos estrategias de acuerdo al coeficiente de correlación que presenta dicha regresión.

- a) Si es menor a 60 %, se promedia las producciones.
- b) Si el mayor a 60 %, se utiliza predice el siguiente valor usando el modelo lineal ajustado.

Mientras que  $\sigma$ , es la variación de los datos historicos para cada centros productivos  $p$ .

## 2. Centros de Acopio

Para el siguiente agente se le da valores secuenciales a la capacidad de almacenamiento del centro de acopio  $ca$ , empezando en 40 toneladas, hasta 100, con intervalos de crecimiento de 20 toneladas, y se hace una asignación previa que al paso de los días puede ser cambiada.

La primera asignación es por la cercanía que tiene el centro productivo (CP)  $p$  al centro de acopio  $ca$ , en un radio de 130 kms.

- a) Si, se encuentran más de un centro de acopio  $ca$  para el CP, entonces se le asigna uno al azar.
- b) Si, solo existe uno en el radio definido se deja este centro de acopio  $ca$ .
- c) Si, no se encuentra ningún centro productivo  $ca$  en el radio de expansión entonces se asigna uno de manera aleatoria dentro de los tres más cercanos.

Ahora la anterior es la primera asignación. La cual podrá ser modificada de acuerdo a la capacidad del centro de acopio  $ca$ , pues dependiendo del día  $i$ , la producción del  $CP_p$  puede superar la capacidad de almacenamiento de  $CA_{ca}$ . Si se presenta el anterior suceso, la producción será asignada de la siguiente manera a los centro productivos. Primeramente se intenta enviar el máximo posible de producción que pueda recibir el centro de acopio  $CA_{ca}$  designado en el anterior paso. Después de llenar al centro de acopio  $CA_{ca}$ , se le envía el máximo de producción capaz de recibir el centro de acopio  $CA_{ca+1}$  más cercano al CP, se continua hasta poder enviar el total de producción generada por el  $CP_p$  o no exista otro  $CA$  a quien se le pueda enviar.

Para cada día  $i$  que transcurre en la simulación el  $CA_{ca}$ , reunir 20 toneladas significa compeltar la capacidad de un contenedor. En todo el día el total de mercancía contenida en el  $CA$  está restringida de la siguiente forma:

$$Almacenamiento_{ca,i} \leq Capacidad_{ca}$$

Se permite almacenar producción de un día a otro para cada  $CA_{ca}$ , hasta llenar plenamente la capacidad del contenedor.

### 3. Exportación

Para realizar el envío de los diferentes contenedores, se calculan los costos de todas las rutas posibles a los países desde cada uno de los cuatro puertos considerados. Para esto a través de cotizaciones de SeaRates (1 de agosto de 2017) se obtuvo los fletes terrestres y por medio Maersk Colombia, los fletes marítimos. Posteriormente se selecciona solo el puerto más rentables para cada  $CA_{ca}$  a cada  $c$ . Luego a cada uno de los países se le asigna una probabilidad de acuerdo a la rentabilidad esperada. Dicha probabilidad se usó para seleccionar con mayor o menor posibilidad los clientes internacionales. Cada  $S$  envíos con una probabilidad del 35 % se analiza si se debe cambiar el destino de los envíos o continuar con la misma configuración. Cuando se presentan cambios, dicho cambio usa nuevamente la probabilidad calculada en el paso anterior.

Una vez construido el modelo que refleja todo el flujo de la cadena de suministro, es de interés medir la efectividad para cada  $ca$ . Lo cual se realiza dividiendo el número de contenedores exportados en  $i$  número de días por la capacidad de almacenamiento. Si se busca la efectividad total,  $i = 365$ , pero si es la efectividad del ciclo productivo,  $i$  depende de los días productivos de cada  $ca$ .

$$\text{Efectividad} = \frac{\text{Contenedores}}{i * \text{Capacidad}_{ca}}$$

#### 3.2.3 PROGRAMACIÓN

El software utilizado es el lenguaje de programación conocido como R, un sistema para análisis estadísticos y gráficos que se distribuye gratuitamente bajo los términos de la *General Public Licence* (GNU). Es uno de los softwares libres más

utilizados a nivel mundial en diferentes campos. Ademas, esta herramienta permite cargar diferentes paquetes según sean las necesidades específicas.

Las variables, datos, resultados y funciones se almacenan en el área de trabajo mediante objetos con un nombre. Y la información estructurada en paquetes y librerías permiten manejar las bases de datos, hacer un análisis estadístico y representaciones gráficas.

Para efectuar las pruebas se utilizó un equipo HP Z230 Tower Workstation de procesador Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1245 v3 3,40GHz (8CPU<sub>s</sub>), con RAM de 16.384 MB.

### 3.2.4 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

Para obtener el valor de producción total que genera el modelo se realiza una corrida de prueba, de donde se obtuvo que la producción para es ejercicio es de 41.811 toneladas de aguacate hass, se resalta que en Colombia culturalmente esta variedad no se consume y que todo lo que se produce se exporta. Por otro lado, después de ejecutado todo el modelo el valor de salida, el cual hace alusión a las exportaciones totales, coincidió con el valor inicial, lo que constata que el modelo en sí, está configurado apropiadamente ya que todas las unidades de producto que entran son las mismas que salen.

Por otro lado, se procede a calcular un promedio de lo que se espera de producción de aguacate en Colombia, tomando como referencia la información histórica de los últimos tres años por municipio suministrada por Agronet. Se hace una sumatoria de los valores de cada año, obteniendo para el año 2014 un valor de 111.556 toneladas, para el 2015 de 123.675 y para el 2016 de 128.074. Posteriormente, se calcula un promedio de los valores mencionados con anterioridad, el cual es de 121.102, pero este valor representa la producción de todas las variedades de aguacate, y enmarcando que la fuente hace referencia a que la variedad hass representa el 38 % del

total, se obtiene una cifra de 46.019 toneladas.

Para la proyección de las exportaciones de este tipo de producto para Colombia, se analiza la información ofrecida por *Trademaps* sobre las cantidades anuales históricamente vendidas al exterior, las cuales se presentan a continuación:

- 2012: 5 toneladas.
- 2013: 542 toneladas.
- 2014: 1.760 toneladas.
- 2015: 5.543 toneladas.
- 2016: 18.201 toneladas.

Por medio de excel se determina que estos valores tienen una línea de tendencia polinómica de grado 3, la cual gráficamente se puede observar en la figura 3.3.

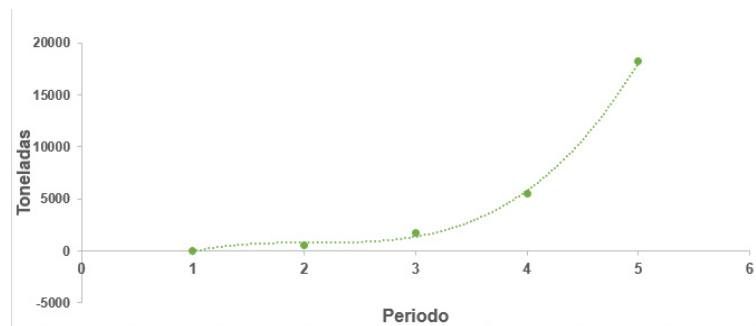


Figura 3.3: Curva de exportaciones.

La fórmula que representa dicha curva está definida por:

$$y = 682.83x^3 - 4230.7x^2 + 8765.5x + 5275.8$$

Para conocer una proyección de las exportaciones para el siguiente periodo se resuelve la ecuación antes descrita

$$y = 682,83(6^3) - 4.230,7(6^2) + 8.765,5(6) - 5.275,8$$

$$y = 42.503,28$$

Finalmente, para ratificar que el modelo de simulación hace una representación aproximada del sistema real, se compara los datos de producción de 41.811 toneladas que generó la corrida de prueba con el promedio de producción que se calculo, el cual fue igual a 46.019 toneladas. También se comparan las 41.811 toneladas con las 42.503 toneladas que representan las exportaciones, y al ver que a pesar de que no son exactamente las mismas cifras, se puede determinar que los valores obtenidos a través del modelado son muy aproximados a los que representan el sistema original.

### 3.2.5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Por criterio de los investigadores, se definen las variables resultado que se buscan medir, la cantidad de contenedores enviados en un ciclo productivo por cada  $CA$ , así como la rentabilidad promedio de dichos  $CA_{ca}$ . Para establecer los factores de control, se escogen 5 factores que se consideran puedan llegar a tener un impacto directo sobre las variables respuesta. Del tal modo que mediante las pruebas estadísticas sean identificadas y descartadas las que no tienen el impacto.

Dichos factores de control son, el radio de cobertura mínima para cada  $CA$ , siendo 130kms, 160kms, 200kms. Del porcentaje total producido por los  $CP$  se le permite adquirir al  $CA$ , 70 %, 80 %, 90 % y 100 % (penetración de mercado) y  $S$  se plantea variar 25, 50, 75 contenedores.

Con la información anterior se corren dos diseños de experimentos factoriales completos, teniendo en cuenta que el software R es libre y este tipo de diseño nos

permite poder analizar sin costo alguno, todas las configuraciones posibles obtenidas con los anteriores factores de control y sus respectivos niveles. Por lo que el análisis de la información es mucho más profundo.

Por otra parte, para el primer experimento se asignan valores secuenciales a la capacidad de almacenamiento del centro de acopio  $ca$ , empezando en 40 toneladas, hasta 100, con intervalos de crecimiento de 20 toneladas. Mientras que para el segundo experimento, se establece una capacidad de almacenamiento homogénea para cada centro de acopio  $ca$  igual 4 contenedores.

Después de establecer los factores de control y sus niveles, se corre el diseño de experimentos mencionado con un total de diez replicas.

## CAPÍTULO 4

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

Vale la pena recordar que se están probando dos experimentos en simultáneo, en un caso se le asignan diferentes capacidades a los centros de acopio y en el otro la misma capacidad (80 toneladas), siendo este el valor mínimo permitido por la simulación. El usar valores inferiores hacía que el modelo de simulación presentara errores dado que no era posible asignar toda la producción de los centros productivos a los centros de acopio por la falta de almacenamiento. Teniendo claro los dos casos, se aplicaron las pruebas estadísticas de *Anderson-Darling* y *Kolmogorov-Smirnov* para los residuos de los análisis de varianza realizados, obteniendo un valor  $p < 0.05$ , como es claro no se puede aceptar la hipótesis nula por consiguiente y con un grado de confianza del 95 % se puede afirmar que los residuos de las ANOVA para los dos casos no presentan normalidad. Dado que no se obtiene normalidad de los datos se procedió a usar pruebas no-paramétricas, con énfasis en *kruskal-Wallis*.

### 4.1 RESULTADOS DE LA PRIMER EXPERIMENTACIÓN

Se presentan los resultados cuando los centros de acopio tienen diferentes capacidades de almacenamiento. La tabla 4.1, contiene los resultados de la prueba *kruskal-Wallis*, para las diferentes variables de interés, en donde las variables ubicadas horizontalmente representan los factores de control, mientras que los que están



ubicados verticalmente hacen alusión a las variables de respuesta o interés.

Tabla 4.1: Análisis Kruskal-Wallis para las variables respuesta del primer experimento.

	Zona		Penetración		Cambio contene.		Acopio	
	Estadístico	Valor P	Estadístico	Valor P	Estadístico	Valor P	Estadístico	Valor P
Total Envios	0.100	0.951	158.258	0.000	0.017	0.992	1750.559	0.000
Rentabilidad	0.222	0.895	149.520	0.000	0.094	0.954	1710.647	0.000
Efectividad	0.507	0.776	238.715	0.000	0.007	0.997	1288.843	0.000
Ciclo productivo	0.507	0.776	238.770	0.000	0.007	0.996	1288.822	0.000

Como se puede observar en la anterior tabla, las variables estadísticamente significativas (Valor  $P < 0.05$ ) son la capacidad de almacenamiento de los centros de acopio y el porcentaje de producción que adquiere de su localidad, este último denominado penetración, para lo cual los siguientes análisis excluyen las demás variables de control y se hace énfasis en estas dos.

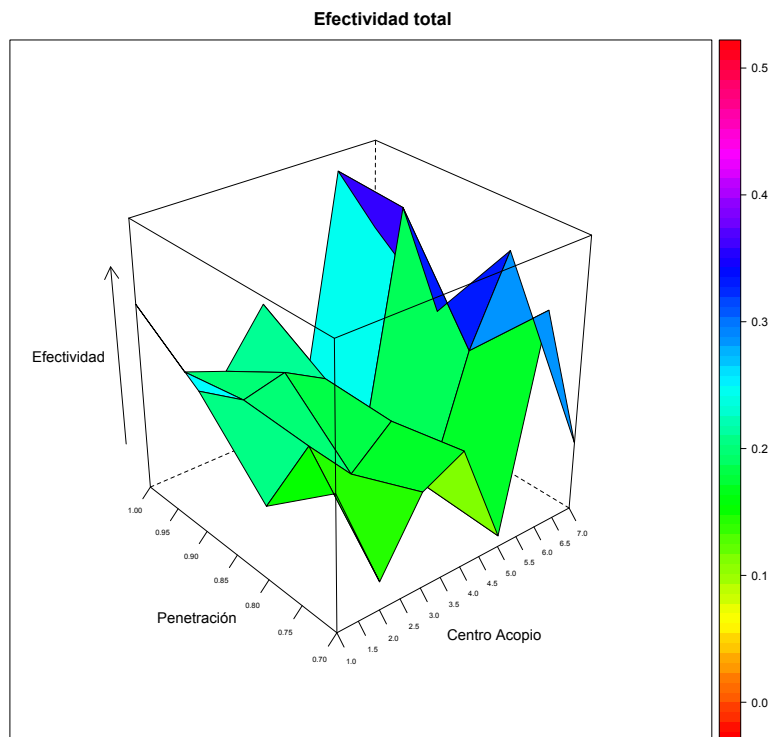


Figura 4.1: Efectividad anual del sistema.

En las figuras 4.1 y 4.2, se presenta gráficamente la variación de la efectividad

promedio de los centro de acopio, en donde se tienen dos métodos diferentes para calcular dicha efectividad de uso. En un caso se considera todo el año, mientras que en el otro solo el tiempo de duración del ciclo productivo. Lo anterior, basado en que si el *CA* solo recibe aguacate Hass 2/3 del año, solo se le debería medir su rentabilidad promedio en este ciclo productivo. Pero se sabe que está postura a lo largo plazo infla los datos escondiendo el problema que se tiene de variabilidad de producción. En el mejor de los casos se tiene una efectividad anual no superior al 40 %, ahora si se considera el ciclo productivo la efectividad aumenta un 30 %. Contrariamente, la efectividad mínima anual es de 9 %, mientras que la mínima del ciclo productivo se incrementa un poco hasta llegar a 15 %.

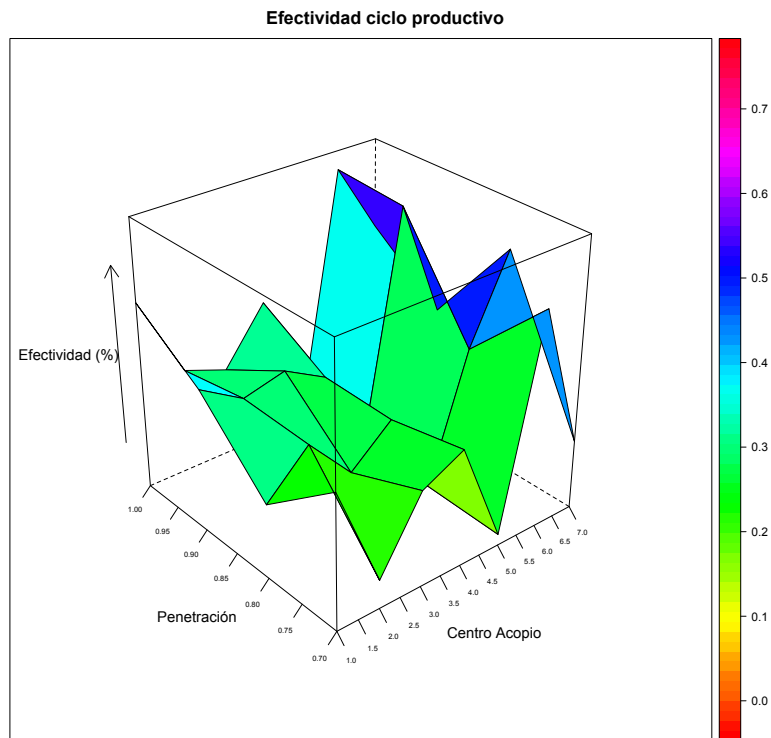


Figura 4.2: Efectividad por ciclo productivo.

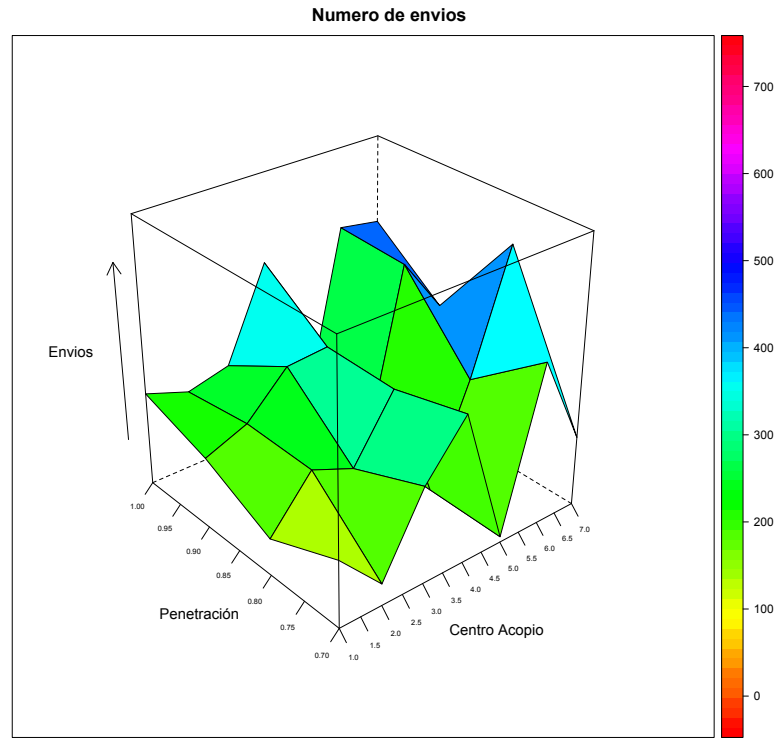


Figura 4.3: Total envíos.

El total de envíos de contenedores por centro productivo, así como la rentabilidad promedio por dichos envíos se muestran en las figuras 4.3 y 4.4.

En dichas figuras, se observa la necesidad de aumentar la tasa promedio de producción de los municipios aledaños a los *CA*, para así

aumentar la cantidad de contenedores enviados y posteriormente la rentabilidad. Los *CA* más rentables son los que tienen cerca a los *CP* con mayor producción promedio o los *CA* que pueden adquirir el 100 % de su zona. Los tres primeros *CA* se encuentran muy cerca uno del otro lo que aumenta considerablemente la competencia por la producción de cada *CP* y esto se ve reflejado tanto en el total de envíos, como en la rentabilidad.

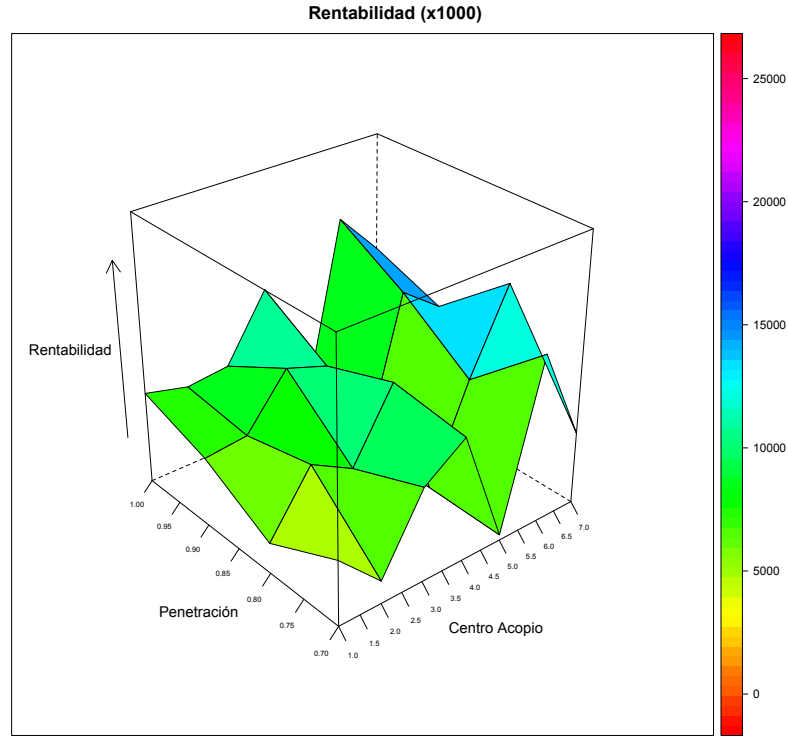


Figura 4.4: Rentabilidad del sistema.

La información extraída de la experimentación, también permite hacer un análisis para cada centro de acopio  $CA$  y entender en cada caso particular como se dan los fenómenos detalladamente. A manera de ejemplo se expondrán los detalles de la efectividad del  $CA$  2, los envíos y la rentabilidad del  $CA$  6 en los diagramas de Caja y Bigotes de las figuras y 4.5, 4.6 y 4.7, 4.8 , la cuales presentan la totalidad de los datos de las 10 replicas por cada valor de penetración.

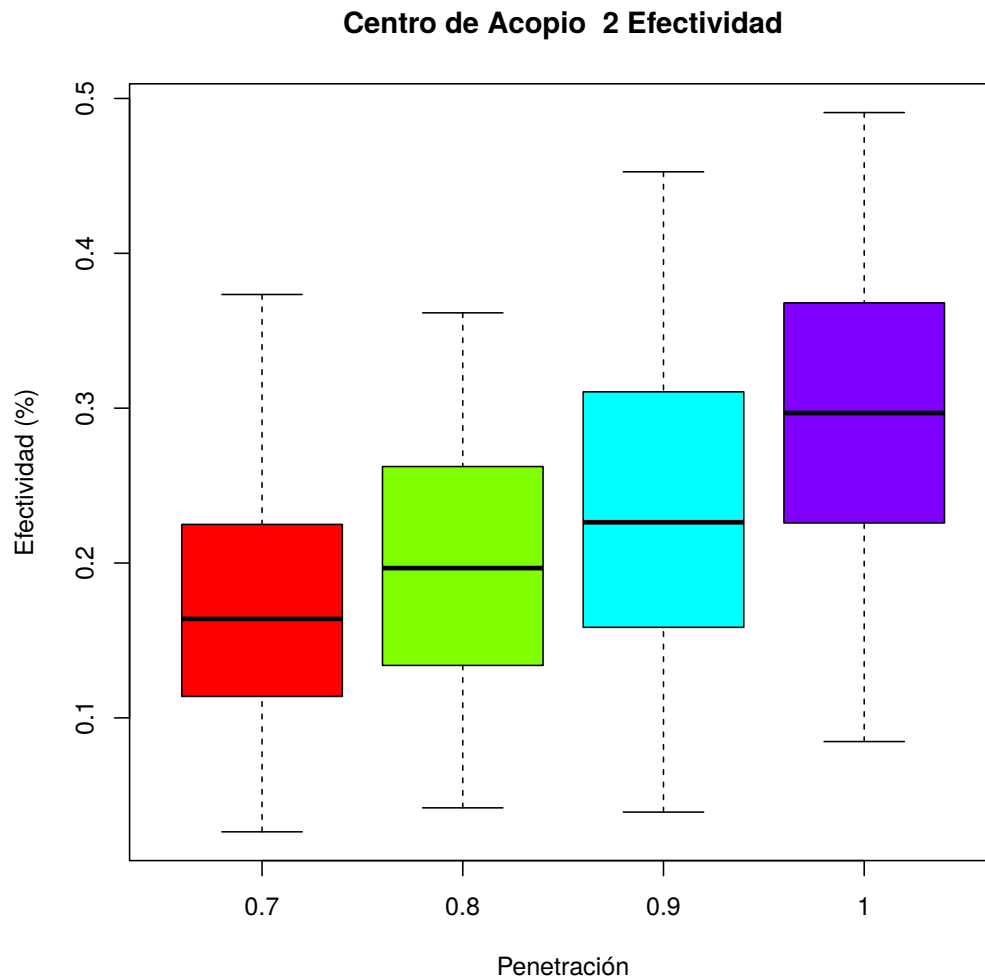


Figura 4.5: Efectividad anual *CA 2*.

Para el *CA 2*, con la información de las figuras 4.5 y 4.6, se puede reafirmar que la efectividad tanto anual como por ciclo productivo aumenta significativamente en la medida en la que el *CA* se esfuerza por adquirir el total de producción de su zona. Cuando la penetración es del 100 %, para la efectividad anual y del ciclo productivo los valores mínimos y máximos que se puede obtener son de 8 %-48 % y de 15 %-77 % respectivamente. Cuando la penetración es de 90 %, la parte baja de la caja es menor que la parte alta; lo que quiere decir que las efectividades comprendidas entre el 25 % y el 50 % para ese nivel de penetración están más concentradas que entre el 50 % y el 75 %. Por su parte, cuando la penetración es de 70 %, el bigote de arriba es más largo que el bigote de abajo; por lo tanto, el 25 % de las efectividades más

altas están más dispersas.

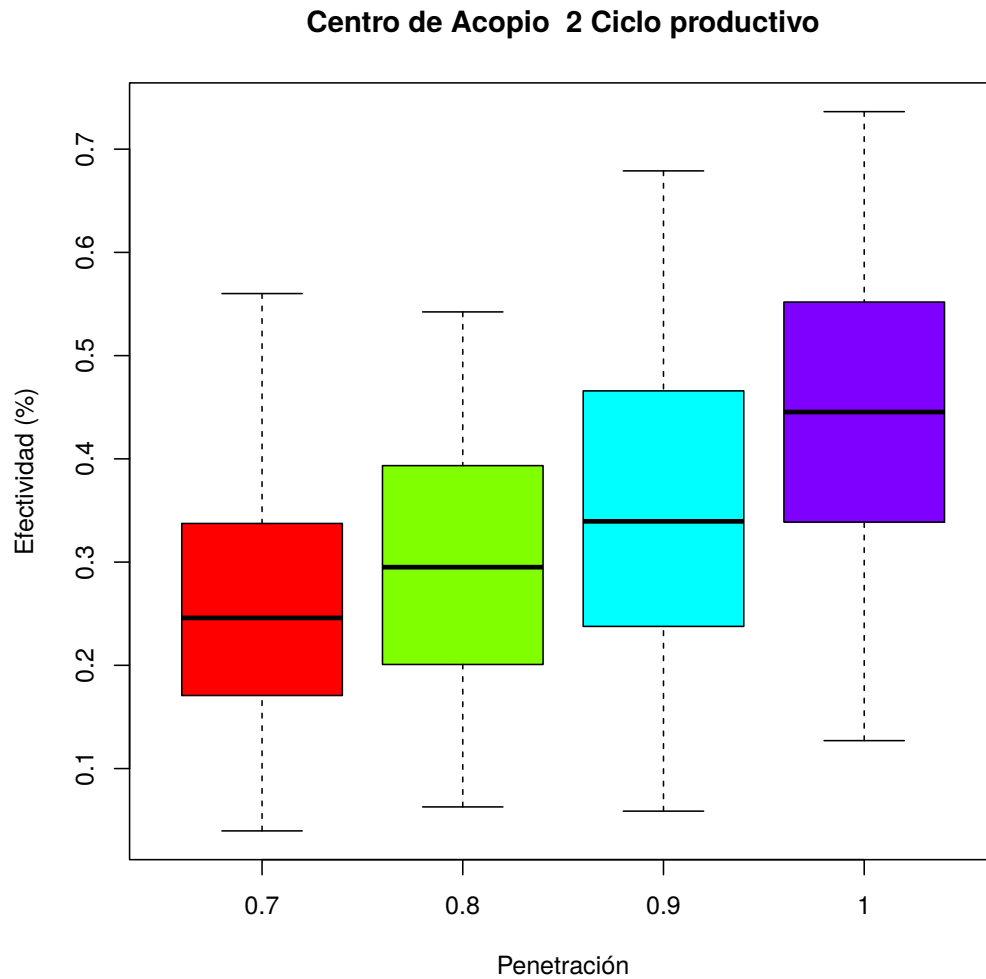


Figura 4.6: Efectividad del ciclo productivo de *CA 2*.

Como era de esperarse, en lo que respecta a los envíos y rentabilidad del *CA 6* reflejados en la 4.7 y 4.8, se puede observar de manera gráfica la relación positiva entre el número de contenedores enviados y la rentabilidad de los mismos que se presenta cuando el centro de acopio es capaz de reunir más producción de su zona. Para esta figura, las diferentes cajas y bigotes que se generan se van concentrando cada vez más en la medida que se aumenta el nivel de penetración.

Para los diferentes cambios en la penetración, la parte arriba de todas las cajas es mayor que la parte baja; lo que indica que los envíos y las rentabilidades comprendidas entre el 50 % y el 75 % están más dispersas para todos los niveles de

penetración que entre el 25 % y el 50 %.

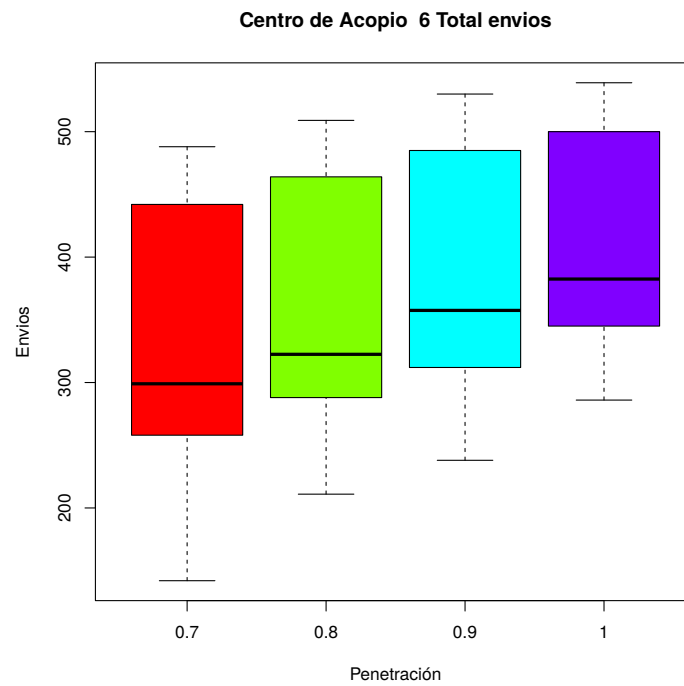


Figura 4.7: Envíos del CA 6.

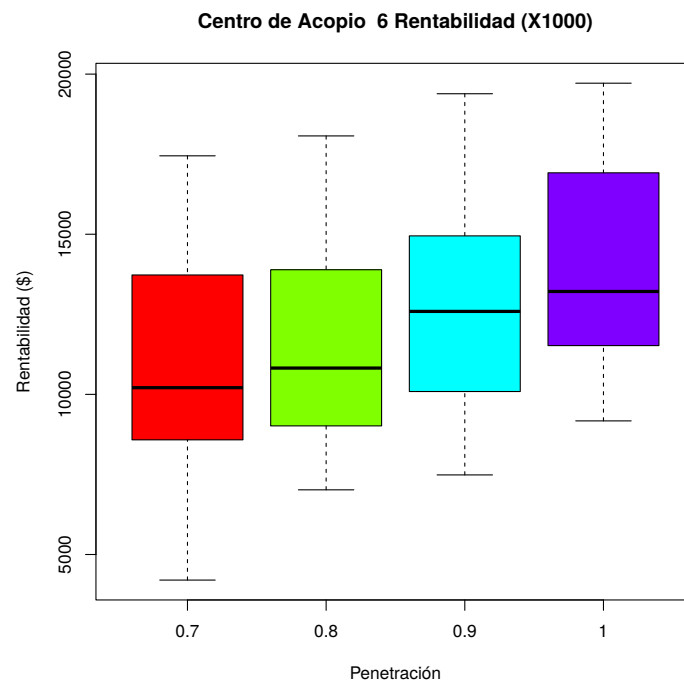


Figura 4.8: Rentabilidad del CA 6.

## 4.2 RESULTADOS DE LA SEGUNDA EXPERIMENTACIÓN

El segundo experimento considerará capacidades de almacenamiento iguales en los centros de acopio. como en el experimento anterior, La tabla 4.2, contiene los resultados de la prueba estadística *kruskal-Wallis* aplicada a los resultados obtenidos después de correr la experimentación. Nuevamente las variables ubicadas horizontalmente representan los factores de control, mientras que los que estan ubicados verticalmente hacen alusión a las variables de respuesta.

Tabla 4.2: Análisis Kruskal-Wallis para las variables respuesta del segundo experimento

	Zona		Penetración		Cambio contene.		Acopio	
	Estadistico	Valor P	Estadistico	Valor P	Estadistico	Valor P	Estadistico	Valor P
Total Envios	0.066	0.968	167.235	0.000	0.002	0.999	1535.520	0.000
Rentabilidad	0.349	0.840	158.372	0.000	0.037	0.982	1511.839	0.000
Efectividad	0.066	0.968	167.235	0.000	0.002	0.999	1535.520	0.000
Ciclo productivo	0.066	0.968	167.235	0.000	0.002	0.999	1535.520	0.000

Los resultados de la prueba indican que de nueva cuenta, las variables estadísticamente significativas son la capacidad de almacenamiento de los centros de acopio y el porcentaje de producción que adquiere su localidad, por lo que las demás variables se ignorarán en el análisis.

Para este caso, se presentan a continuación las figuras que ilustran la variación de la efectividad promedio de los centro de acopio, los envios y la rentabilidad para todo el sistema, conservando los dos métodos anteriores, pero esta vez con una capacidad de almacenamiento igual para todos los centros de acopio.



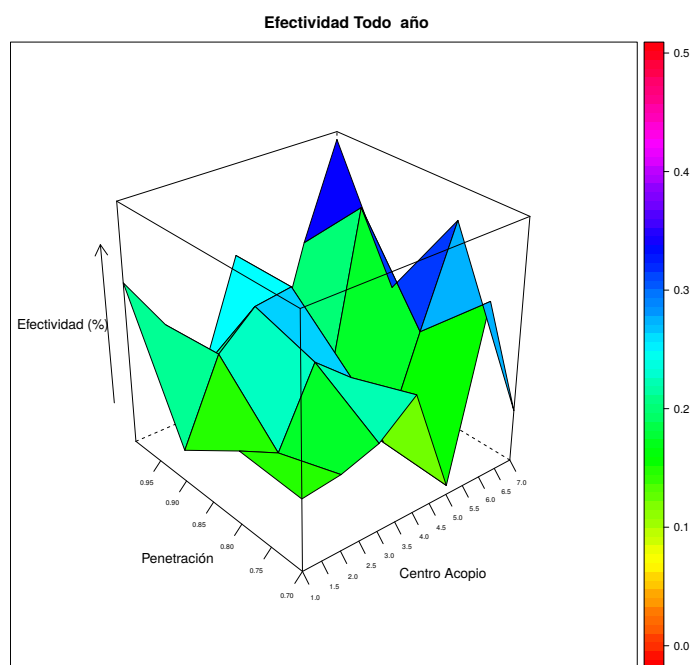


Figura 4.9: Efectividad anual del sistema.

En el mejor de los casos de la figura 4.9 se tiene una efectividad anual de 43 %, ahora si se considera el ciclo productivo, como se parecia en la figura 4.10 la efectividad alcanza un 65 %. Los valores mínimos de efectividad perten a los primeros centros de acopio debido a que se localizan en la misma zona y deben compartir la producción de los mismos municipios; por lo que para aumentar la efectividad de dichos centros de acopio lo que se requiere es incluir nuevos centros productivos en dicha zona.

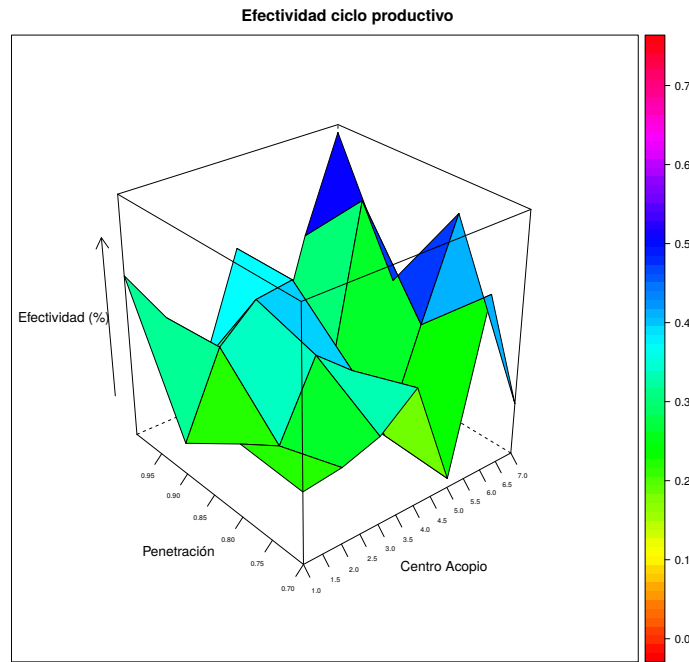


Figura 4.10: Efectividad por ciclo productivo.

Gráficamente tanto las figuras de efectividad como las de envíos y rentabilidad están dadas por la misma forma; lo anterior se le atribuye a la estabilidad que se le dio al sistema, ya que así el centro productivo  $p$  aumenta sus volúmenes de producción, los centros de acopio  $cp$  solo están en capacidad de recibir 80 toneladas (4 contenedores). Sin embargo, se pueden apreciar algunos picos en las figuras, dado que, los centro productivos  $p$  que cuentan con una mayor tasa de producción envían su mercancía a los centros de acopio  $ca$  5, 6 y 7, de modo que estos puedan obtener ventaja de los demás.

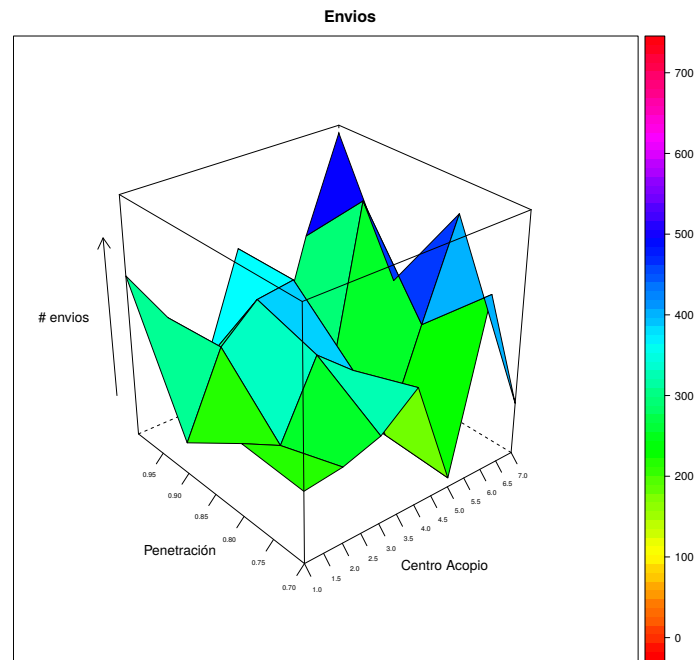


Figura 4.11: Total envíos.

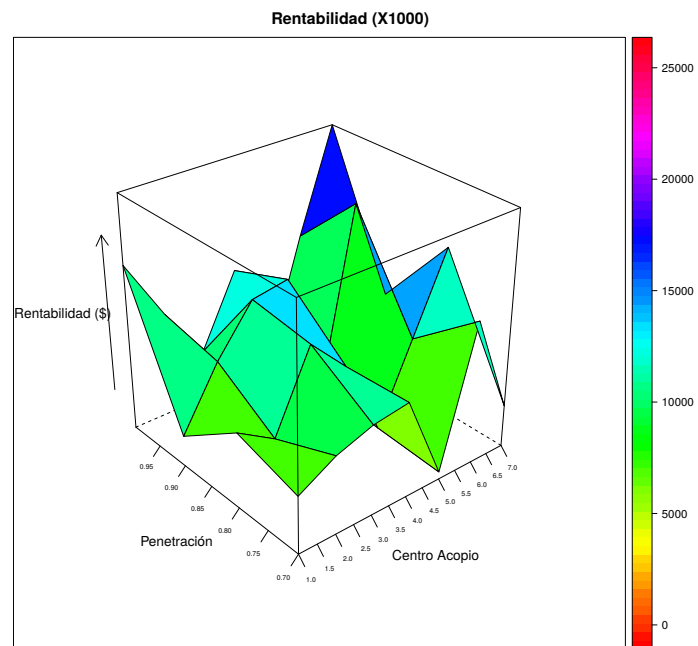


Figura 4.12: Total rentabilidad.

Adicionalmente, se complementa la información con la descripción detallada para un *CA* específico. En este caso se compartirán los resultados de la efectividad para el *CA* 4, los envíos y la rentabilidad del *CA* 1 en los siguientes diagramas de Caja y Bigotes.

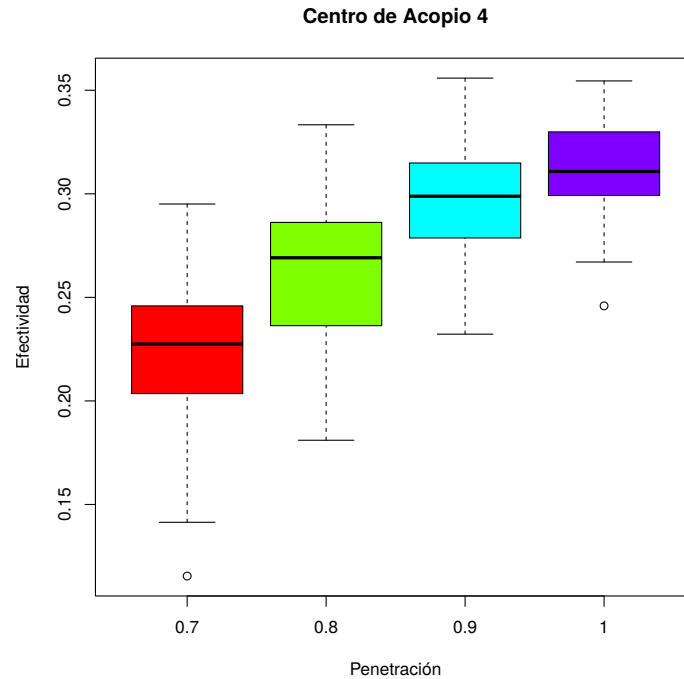


Figura 4.13: Efectividad anual.

Se puede apreciar en la figuras 4.13 y 4.14 que la efectividad para el *CA* 4 aumenta en la medida que la penetración se acerca al 100 %, pero los valores para cada variación de la penetración se van concentrando más en la medida de su aumento.

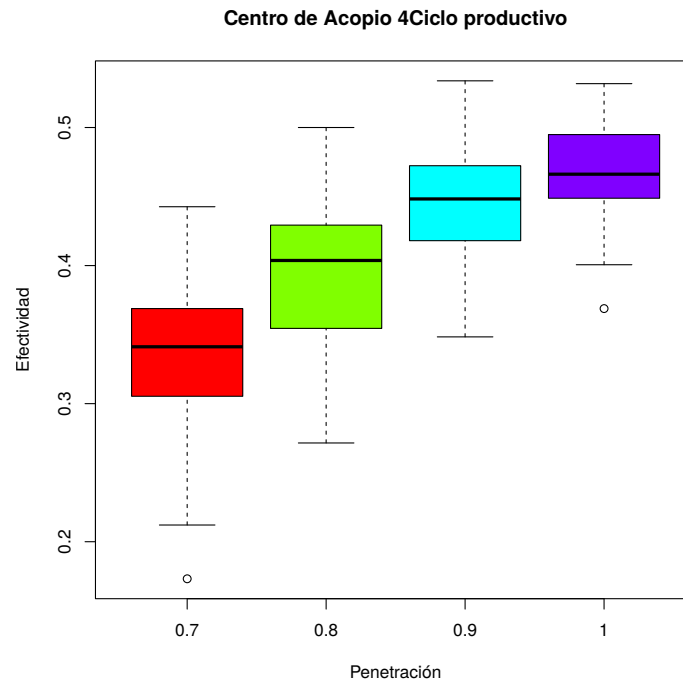


Figura 4.14: Efectividad del ciclo productivo.

Cuando la penetración es de 80 %, la parte baja de la caja es más amplia que la parte alta; lo que indica que las efectividades comprendidas entre 25 % y 50 % se encuentran mas dispersas que la que se ubican entre el 50 % y el 75 %.

Respecto a los envíos y la rentabilidad del *CA* 1 contenidos en las figuras 4.15 y 4.16, se puede observar que los bigotes para cada variación de la penetración se encuentran disperas debido a que este *CA* tiene en su zona más centros de acopio y la producción se reparte entre ellos.

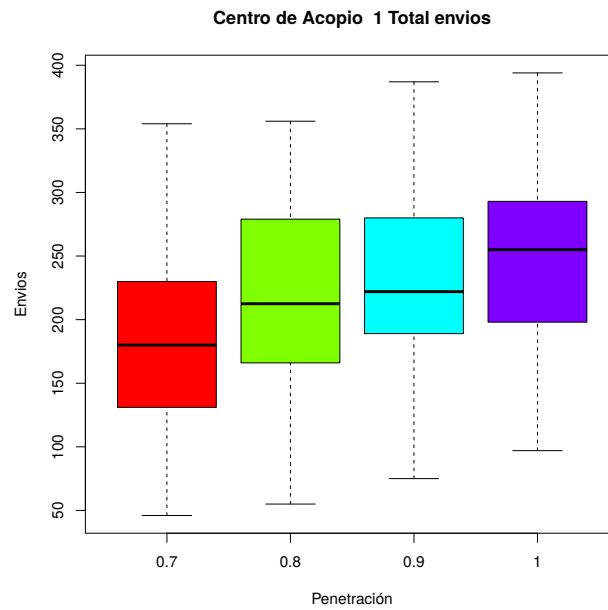


Figura 4.15: Total envíos.

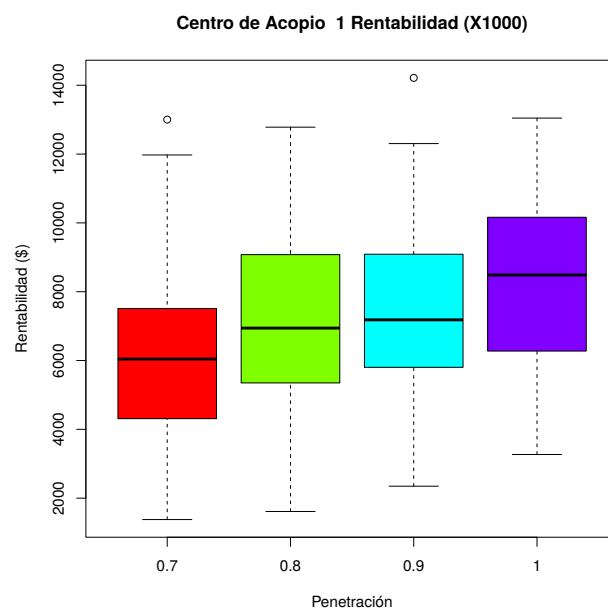


Figura 4.16: Rentabilidad anual.

Cuando la penetración es del 100 % la parte de alta de la caja es menor que a parte baja; es decir que los valores de envíos y rentabilidades que están comprendidos entre 50 % y 75 % están más concentrados que los que están entre 25 % y 50 %.

### 4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el siguiente apartado se analiza y se discute los resultados obtenidos en la sección anterior, con el objetivo de contrastar la hipótesis de trabajo presentada.

Previamente, se había expuesto que hay diversos factores que afectan el desempeño de las redes de distribución, y que es por eso por lo que las empresas deben medir sus redes según el impacto que tengan en el nivel de servicio al cliente. Algunos factores que se mencionaron fueron, disponibilidad de producto, tiempo de respuesta, entre otros.

La hipótesis del trabajo relacionaba la posibilidad de demostrar que se genera una mayor eficiencia en la red de aguacate hass colombiana cuando los centros de acopio trabajan de manera colaborativa, ofreciendo un beneficio mayor que sus participaciones individuales.

Los resultados obtenidos en la experimentación muestran el impacto de la penetración de cada centro de acopio en su zona de influencia, así como de la capacidad de almacenamiento sobre la efectividad de la cadena de suministro.

Para el experimento uno, los envíos pueden llegar a variar por centro de acopio entre un mínimo de 100 contenedores y un máximo de 500 contenedores, generando valores de rentabilidad mínima y máxima de 4.700 USD y 18.000 USD.

En el caso de experimentación dos, las cifras de envíos varían entre 200 y 600 contenedores, mientras que su rentabilidad entre 6.000 USD y 22.000 USD.

Poniendo en evidencia como en la medida que los centros de acopio se esfuerzan por adquirir la mayor cantidad posible de la producción de su zona e igualan la capacidad de almacenamiento en todo el sistema a 80 toneladas, pueden aumentar el número de envíos alcanzados en todo el sistema, logrando aumentar la disponibilidad de producto para la creciente demanda internacional y alcanzando un mayor nivel

de cumplimiento al tener la capacidad de configurar la distribución de tal manera que se puedan exportar más contenedores.

También, se expuso que la distribución en un proceso de un alto impacto en otros procesos como el de producción y almacenamiento. Y al escalar los resultados a nivel individual de los centros de acopio y desarrollar las estrategias que permitan el aumento de la utilidad esperada en los centros de acopio, se puede ver como se involucran otros procesos de la cadena. Algunos centros de acopio deben promover más la producción del aguacate en la zona, mientras que otros deben aumentar la capacidad de almacenamiento para generar una estabilidad como la que se obtuvo en el caso de experimentación dos.

A pesar de los mejores resultados del segundo caso, para ambos casos de experimentación, la tasa promedio de utilización de los centro de acopio es muy baja a lo esperada por los investigadores, por lo cual se puede considerar tanto experimentalmente como en la práctica, mientras la industria adquiere madurez, utilizar otro producto agrícola como complemento para aprovechar al máximo la infraestructura en todo el año. Siempre y cuando su función de producción no se cruce más del 25 %.

Tal y como se propuso en la hipótesis, mediante un modelo de simulación se demuestra que se genera una mayor eficiencia observando la correlación entre la penetración y la capacidad de almacenamiento de los centros de acopio, con los niveles de envíos y rentabilidad alcanzados.



## CAPÍTULO 5

# CONCLUSIONES

---

### 5.1 CONCLUSIONES GENERALES

El presente trabajo representa un apoyo para la toma de decisiones a nivel empresarial. Las empresas que conforman las cadenas de suministro agroalimentarias requieren contemplar la colaboración empresarial en sus operaciones como una buena alternativa de trabajo, reconociendo la variabilidad típica de factores críticos como la producción en este tipo de cadenas.

Como se puede observar a través de esta implementación, la simulación es muy adecuada en problemas en los que se deben evaluar diferentes escenarios de operación antes de tomar una decisión, ya que un error representaría grandes pérdidas económicas, inclusive la quiebra para empresarios del sector agroalimentario.

Con soporte en la revisión de la literatura, se puede concluir que existen diferentes factores que impactan las redes de distribución, pero para el caso de estudio de la industria de aguacate hass en Colombia, se identificaron, la penetración de los centros de acopio en su zona de influencia y su capacidad de almacenamiento. Se resalta que estos criterios pueden variar se aplica la metodología a otra cadena de suministro o incluso si se cuenta con un poco más de información de la del caso de estudio, por lo que se considera oportuno conocer la operación en su totalidad para

definir los factores a analizar.

## 5.2 CONTRIBUCIONES

Dentro de la investigación se tocan aspectos que en los últimos años han tomado mayor importancia, como lo son las cadenas de suministros enfocadas al sector primario de la economía.

Por lo tanto, gracias al aumento poblacional y de demanda de productos alimenticios, uno de los aportes de esta investigación es un esquema general de simulación para una cadena de suministro agroalimentaria, que puede ser aplicado a cualquier producto que pertenezca a este giro y actualizarse en la medida que se tenga acceso a más información, gracias a su flexibilidad y a su capacidad de poder adquirir mayor complejidad.

Además, se contribuye a la consideración de la simulación como una herramienta efectiva en los procesos de análisis de distribución de productos agrícolas en la cadena de suministro que aportan información valiosa para la toma de decisiones y generación de estrategias. Puntualmente para el caso de estudio, en Colombia el aguacate hass en la actualidad representa una industria que está impactando no solamente las utilidades de grandes empresas exportadoras, sino que también, el nivel y calidad de vida de muchos pequeños y medianos agricultores que le están apostando a este producto.

Es por eso que se espera que este trabajo se tome en consideración para el mejoramiento del flujo de productos a través de la cadena de suministro de aguacate hass en Colombia, gracias a el interés de todos sus actores por implementar estrategias que posicionen al país como un referente en dicha industria.

## APÉNDICE A

# APÉNDICE

---

En esta sección se comparte toda la información disponible a la que se pudo acceder gracias a la investigación exploratoria realizada.

En primer lugar se encuentra, los históricos de producción anual por municipio, y la ubicación de cada centro de acopio, encontrados en la plataforma Agronet, la red de información y comunicación del sector agropecuario de Colombia, liderada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO.

Para la información de los fletes marítimos, se logró obtener cotizaciones por dos de las navieras más importantes en Colombia, Maersk Line y Hamburg Sud.

Los precios históricos de las exportaciones de aguacate hass colombiano se encuentran disponibles en el portal *Trade map*, la plataforma de estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas, administrada por el Centro De Comercio Internacional.

Por su parte, las distancias entre los centros productivos y centros de acopio fueron calculadas por medio de *Google maps*.

Finalmente, los fletes terrestres se obtuvieron a través de las tarifas compartidas por una empresa *Forwarder*, que a su vez pidió no revelar su nombre.

Día inicial	Pico 1	Pico 2	Día final	Municipio	2014
8/12/2014	22/01/2015	28/03/2015	15/05/2015	Retiro	4400
8/12/2014	22/01/2015	28/03/2015	15/05/2015	Peñol	2000
8/12/2014	22/01/2015	28/03/2015	15/05/2015	Abejorral	2774
8/12/2014	22/01/2015	28/03/2015	15/05/2015	La ceja	2000
8/12/2014	22/01/2015	28/03/2015	15/05/2015	Guarne	4496
8/12/2014	22/01/2015	28/03/2015	15/05/2015	San Vicente	1390
8/12/2014	22/01/2015	28/03/2015	15/05/2015	Carmen de viboral	2808
8/12/2014	22/01/2015	28/03/2015	15/05/2015	Rionegro (Antioquia)	1330
3/10/2014	5/11/2014	8/12/2014	26/12/2014	Fresno	24865
3/10/2014	5/11/2014	8/12/2014	26/12/2014	Herveo	1500
3/10/2014	5/11/2014	8/12/2014	26/12/2014	Casabianca	1265
3/10/2014	5/11/2014	8/12/2014	26/12/2014	palocabildo	1080
3/10/2014	13/11/2014	18/01/2015	22/02/2015	Marquetalia	2640
3/10/2014	13/11/2014	18/01/2015	22/02/2015	Anserma	5640
3/10/2014	13/11/2014	18/01/2015	22/02/2015	Manzanares	3836
3/10/2014	13/11/2014	18/01/2015	22/02/2015	Arandazu	2400
3/10/2014	13/11/2014	18/01/2015	22/02/2015	Aguadas	170
3/10/2014	13/11/2014	18/01/2015	22/02/2015	Santa Rosa de Cabal	900
3/10/2014	13/11/2014	18/01/2015	22/02/2015	Apia	1850
3/10/2014	13/11/2014	18/01/2015	22/02/2015	Filandia	644
3/10/2014	13/11/2014	18/01/2015	22/02/2015	Pijao	705
3/10/2014	31/10/2014	28/12/2014	29/01/2015	Urrao	960
3/10/2014	31/10/2014	28/12/2014	29/01/2015	Montebello	1248
3/10/2014	31/10/2014	28/12/2014	29/01/2015	Sonsón	5838
3/10/2014	31/10/2014	28/12/2014	29/01/2015	Jardín	1008
3/10/2014	31/10/2014	28/12/2014	29/01/2015	Amaga	903
2/09/2014	5/10/2014	15/10/2014	28/12/2014	Argelia (Cauca)	20
2/09/2014	5/10/2014	15/11/2014	28/12/2014	EL tambo	570
2/09/2014	5/10/2014	15/11/2014	28/12/2014	Morales	485
2/09/2014	5/10/2014	3/01/2015	29/01/2015	Sevilla	9600
2/09/2014	5/10/2014	3/01/2015	29/01/2015	Caicedonia	3084
2/09/2014	5/10/2014	3/01/2015	29/01/2015	Argelia (Valle del Cauca)	3615
2/09/2014	5/10/2014	3/01/2015	29/01/2015	Ulloa	1223
5/01/2015	28/01/2015	19/02/2015	30/03/2015	El Carmen de Chucurí	3900
5/01/2015	28/01/2015	19/02/2015	30/03/2015	Rionegro (Santander)	3696
5/01/2015	28/01/2015	19/02/2015	30/03/2015	Landazurí	3570
5/01/2015	28/01/2015	19/02/2015	30/03/2015	San Vicente de Chucurí	3143

Figura A.1: Histórico de producción en toneladas.

Centro de acopio	Ubicación
C_A 1	La ceja (Antioquia)
C_A 2	Km 21 vía mdlln-Bgt
C_A 3	El retiro (Antioquia)
C_A 4	Zarzal (Valle del Cauca )
C_A 5	Piendamó (Cauca)
C_A 6	Pereira (Risaralda)
C_A 7	Armero Guayabal (Tolima)

Figura A.2: Ubicación geográfica de centros de acopio.

Puerto	USD	Mercados Internacionales
Cartagena	3.650	Francia
	3.800	España
	3.810	Países bajos
	3.920	Reino Unido
	4.250	Estados Unidos
Barranquilla	2.970	Francia
	3.120	España
	3.250	Países bajos
	3.340	Reino Unido
	4.350	Estados Unidos
Sta. Marta	3.120	Francia
	3.300	España
	3.450	Países bajos
	3.630	Reino Unido
	4.450	Estados Unidos
Buenaventura	3.420	Francia
	3.750	España
	3.860	Países bajos
	3.990	Reino Unido
	4.460	Estados Unidos

Figura A.3: Flete marítimo según mercado destino.

Mercado destino	Precio en USD/Ton		
	2104	2015	2016
Francia	1.568	1.630	1.843
España	1.837	1.595	1.691
Países bajos	2.083	1.845	1.974
Reino Unido	2.044	2.076	2.088
Estados Unidos	1.905	1.762	2.306

Figura A.4: Precios históricos de exportación de aguacate Colombiano.

Municipio	Distancia en Kms						
	C_A1	C_A2	C_A3	C_A4	C_A5	C_A6	C_A7
Retiro	17.43	39	0	277	504	200	301
Peñol	44	27.4	53	358	585	281	283
Abejorral	46.3	80	58.6	259	486	182	336
La ceja	0	36.5	17.3	286	513	209	292
Guarne	39.6	29.7	33.3	322	549	245	285
San Vicente	43	33.4	48.4	344	570	267	289
Carmen de viboral	15	26	32	300	535	221	282
Rionegro	18	20	20	325	552	248	276
fresno	296	260	305	218	445	141	44.6
Herveo	262	312	288	200	427	123	97
Casabianca	325	288	311	239	538	234	57
palocabildo	302	266	311	274	495	197	34
Marquetalia	291	255	300	259	486	182	67.8
Anserma	179	244	171	120	346	78	203
Manzanares	339	303	341	234	461	157	86.8
Arandazu	170	234	195	177	403	100	184
Aguadas	117	181	142	254	480	176	254
Santa Rosa de Cabal	196	260	187	92	319	15	172
Apia	210	275	235	109	335	64.7	249
Filandia	238	302	229	103	306	31	208
Pijao	287	352	312	79	292	79	213
Urrao	190	219	129	346	573	269	385
Montebello	31	111	33.5	263	490	186	367
Sonsón	68.4	102	85	292	517	213	357
Jardin	162	190	151	189	420	146	263
Amaga	69	97	59	275	506	196	353
Argelia	694	758	719	412	183	488	645
EL tambo	576	640	601	294	66	370	527
Morales	528	593	554	246	18	323	480
Sevilla	331	395	356	48	230	306	463
Caicedonia	290	354	281	47	261	82	215
Argelia (Valle del Cauca)	273	337	298	87	316	67	250
Ulloa	245	309	270	80	307	35	222
EL Carmen de Chucurí	386	350	347	561	792	482	336
Rionegro (Santander)	463	427	424	638	869	558	412
landazuri	351	314	312	526	757	446	300
San Vicente de Chucurí	417	381	379	593	824	513	367

Figura A.5: Distancias entre centros productivos y de acopio.

Centro de acopio	USD	Puerto
CA1	1.239	Cartagena
	1.317	Barranquilla
	1.540	Sta. Marta
	1.382	Buenaventura
CA2	1.235	Cartagena
	1.312	Barranquilla
	1.493	Sta. Marta
	1.522	Buenaventura
CA3	1.239	Cartagena
	1.317	Barranquilla
	1.542	Sta. Marta
	1.387	Buenaventura
CA4	1.576	Cartagena
	1.823	Barranquilla
	1.768	Sta. Marta
	762	Buenaventura
CA5	1.510	Cartagena
	1.614	Barranquilla
	1.673	Sta. Marta
	547	Buenaventura
CA6	1.474	Cartagena
	1.721	Barranquilla
	1.665	Sta. Marta
	817	Buenaventura
CA7	1.638	Cartagena
	1.540	Barranquilla
	1.484	Sta. Marta
	1.252	Buenaventura

Figura A.6: Flete terrestre centros de acopio-puertos.

# BIBLIOGRAFÍA

---

- ATTARAN, M. y S. ATTARAN (2007), «Collaborative supply chain management: The most promising practice for building efficient and sustainable supply chains», *Business Process Management Journal*, **13**(3), págs. 390–404.
- BALLOU, R. (2004), *Logística*, segunda edición, Limusa, México, DF.
- BAREÑO, F. (2014), «Estado actual y perspectivas de la cadena del aguacate en Colombia», .
- BOURLAKIS, M. y P. WEIGHTMAN (2004), *Food Supply Chain Management*, Blackwell Publishing, London.
- BOWERSOX, D., D. CLOSS y M. BIXBY COOPER (2002), *Cuantificación y generación de valor en la cadena de suministro extendida*, primera edición, McGraw-Hill, Estados Unidos, Nueva York.
- CAIAZZA, R. y T. VOLPE (2013), «How Campanian SME can compete in the global agro-food industry», *Journal of Food Products Marketing*, **19**(5).
- CAMACHO, H., K. GÓMEZ y A. MONRROY (2012), «Importancia de la cadena de suministros en las organizaciones», *10 Latin American and Caribbean Conference*, págs. 1–11.
- CHANCHAICHUJIT, J., J. SAAVEDRA-ROSAS, M. QUADDUS y M. WEST (2016), «The use of an optimisation model to design a green supply chain: A case study of the Thai rubber industry», *The International Journal of Logistics Management*, **27**(2), págs. 595–618.



- CHAO, P. y K. ISHII (2007), «Design process error proofing: failure modes and effects analysis of the design process», *Journal of Advanced Mechanical Design*, **129**(5).
- CHOPRA, S. y P. MEINDL (2008), *Administración de la cadena de suministro*, tercera edición, Pearson Educación, México, DF.
- CHRISTOPHER, M. (1998), *Logistics and supply chain management; strategies for reducing costs and improving services*, Pitman Publishing, London.
- COUNCIL OF SUPPLY CHAIN OF MANAGEMENT PROFESSIONALS (2013), «CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary», *Informe técnico*.
- DREZNER, Z. y H. HAMACHER (2002), *Facility Location: concepts, models, algorithms and case studies*, primera edición, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania.
- DURANCE, P. y M. GODET (2010), «Scenario building: Uses and abuses», *Technological Forecasting and Social Change*, **77**.
- ESCOBAR, J., J. BRAVO y V. C. (2013), «Optimización de una red de distribución con parámetros estocásticos usando la metodología de aproximación por promedios muestrales», *Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte*, **31**(1), págs. 135–160.
- ESTRADA, M. (2007), *Análisis De Estrategias Eficientes En La Logística De Distribución De Paquetería*, Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya.
- GOMES, L. D. C. y F. J. KLIEMANN NETO (2015), «Métodos Colaborativos Na Gestão De Cadeias De Suprimentos: Desafios De Implementação», *Revista de Administração de Empresas*, **55**, págs. 563 – 577, URL [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-75902015000500563&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75902015000500563&nrm=iso).
- GONZÁLEZ-ESTUDILLO, J., G.-C. J., F. NÁPOLES, J. PONCE y M. EL-HALWAGI (2017), «Optimal Planning for Sustainable Production of Avocado in Mexico», *Springer Science+Business Media*, págs. 110–118.

- HASSON, F., S. KEENY y H. MCKENNA (2000), «Research guidelines for the Delphi survey technique», *Journal of Advanced Nursing*, **32**.
- IBARRA, A. (2015), *Organogénesis de cuatro cultivos de aguacate Persea americana Mill*, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- JIMÉNEZ, J. y S. HERNÁNDEZ (2002), «Marco conceptual de la cadena de suministro: Un nuevo enfoque logístico», .
- LAMBERT, D. (2008), *Supply chain management: processes, partnerships, performance*, tercera edición, Supply Chain Management Institute, Estados Unidos, Florida.
- LAMBERT, M., J. COOPER y J. PUGH (1998), «Supply chain management: Implementation issues and research opportunities», *The international journal of logistics management*.
- LEE, D., S.-G. YANG, K. KIM y B. J. KIM (2018), «Product flow and price change in an agricultural distribution network», *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **490**(Supplement C), págs. 70 – 76, URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437117307239>.
- LÓPEZ, C. (2013), *Diseño de Sistemas Logísticos de Distribución*, Tesis de Maestría, Universidad de Valladolid.
- MANZINI, R., E. FERRARI, M. GAMBERI, A. PERSONA y A. REGATTIERI (2005), «Simulation performance in the optimisation of the supply chain», *Journal of Manufacturing Technology Management*, **16**(2), págs. 127–144.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (20 de marzo de 2017), «<http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>», .
- NOWACK, M., J. ENDRIKAT y E. GUENTHER (2011), «Review of Delphi-based scenario studies: Quality and design considerations», *Technological Forecasting and Social Change*, **78**.

- OSORIO, J., D. ARANGO y C. RUALES (2011), «Selección de proveedores usando el despliegue de la función de calidad difusa», *Revista EIA*, págs. 73–83.
- SABET, E., N. YAZDANI y S. D. LEEUW (2017), «Supply chain integration strategies in fast evolving industries», *The International Journal of Logistics Management*, **28**(1), págs. 29–46.
- SEARATES (1 de agosto de 2017), «<http://https://www.searates.com/>», .
- SÁNCHEZ, M. (2008), *Cuantificación y generación de valor en la cadena de suministro extendida*, Del Blanco, España, León.
- SPREAFICO, C., D. RUSSO y C. RIZZI (2017), «A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents», *Computer Science Review*, **25**.
- VAN DER VORST, J., C. DA SILVA y J. TRIENEKENS (2007), «Agro-industrial supply chain management: concepts and applications», *Food and Agriculture Organization Of The United Nations*.
- ZHANG, Q., H. WANG y H. LIU (2012), «4-stage distribution network optimization of supply chain with grey demands», *Kybernetes*, **41**(5/6), págs. 633–642.

# RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

---

Alexander Parra Arenas

Candidato para obtener el grado de  
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE  
AGUACATE HASS PARA LAS EXPORTACIONES COLOMBIANAS  
MEDIANTE SIMULACIÓN

Nació en Ibagué, Tolima, Colombia, el 25 de septiembre de 1993, hijo de Gloria Ines Arenas Sierra y Alexander Parra Lozano. Es egresado de la carrera de Negocios Internacionales de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad del Tolima.